

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет	Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра	Хімічних технологій та інженерії
Спеціальність	161 Хімічні технології та інженерія
Форма навчання	денна

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Кривенка Руслана Валерійовича

на тему Обґрунтування критеріїв вибору вугля для виробництва
пило-вугільного палива з метою оптимізації роботи
доменних печей

за матеріалами ПАТ «АМКР»

науковий
керівник к.т.н.



Десна Н.А.

(підпис)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 14.01.2025 р. № 8

Завідувач кафедри



(підпис)

к.т.н., доцент

К.О. Шмельцер

ДУЕТ – 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **Хімічних технологій та інженерії**

Шмельцер К.О.
(підпис) доцент, к.т.н.
Шмельцер К.О.
(посада, вчене звання,
прізвище-ініціали)
« 15 » січня 20 21 року

ЗАВДАННЯ

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ
ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Кривенку Руслану Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра Обґрунтування критеріїв вибору вугля для виробництва пило-вугільного палива з метою оптимізації роботи доменних печей

керівник кваліфікаційної роботи магістра Десна Наталя Анатоліївна, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу №796-ст від «21» листопада 2024 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 15.01.2025 р.

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи магістра Техніко-економічні показники роботи вуглепідготовчого цеху КХВ ПАТ «АМКР»

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)





4.1 Аналітична частина: Особливості роботи доменної печі з технологією вдування пило-вугільного палива. Аналіз існуючих критеріїв оцінки вугілля для використання при виробництві пило-вугільного палива. Розгляд вугільних компонентів, що використовується в якості пило-вугільно палива

4.2 Основна частина: Вибір та обґрунтування технологічних характеристик вугілля для використання в якості критерію оцінки придатності вугілля до використання як пило-вугільного палива. Дослідження особливостей експлуатації установки з виробництва пило-вугільного палива, методи вибору сировини на прикладі КХВ ПАТ «АрселорМітал Кривий Ріг». Розробка обґрунтованих критеріїв вибору вугілля для виробництва пило-вугільного палива. Вивчення екологічних аспектів роботи дільниці з виготовлення пило-вугільного палива

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Завданням графічний матеріал не передбачений

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Десна Н.А., доцент		
2 Основна частина	Десна Н.А., доцент		

7. Дата видачі завдання «15» листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	29.11.2024	
2.	Основна частина	20.12.2024	
3.	Оформлення пояснювальної записки	27.12.2024	
4.	Подання роботи до кафедри	15.01.2025	
5.	Захист роботи в ЕК	21.01.2025	

Здобувач


(підпис)

Кривенко Р.В
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)

Десна Н.А.
(прізвище та ініціали)

*Примітка. Бланк друкується з обох сторін на одному аркуші.

АНОТАЦІЯ

Кривенко Р.В. Обґрунтування критеріїв вибору вугілля для виробництва пило- вугільного палива з метою оптимізації роботи доменних печей. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». Державний університет економіки і технологій. Навчально-науковий технологічний інститут. Кривий Ріг, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена критеріям та методам вибору вугілля для вдування у доменні печі різних об'ємів. У роботі показано, що на технологічний процес доменного виробництва з використанням системи пиловугільного палива впливає вибір марки вугілля, його фракційний та хімічні склади. Також розглянуто різновиди систем пиловугільного вдування на доменних печах Європи та Азії.

У роботі проаналізовано чотири марки вугілля: Сарахи, Сангурд, Кармозд та Табас. Згідно міжнародного стандарту ASTM, проведено тест Рок-евалю на визначення ТОС (загального вмісту вуглецю, оцінка реакційної здатності, випробування на в'язкість та горіння. Обрана оптимальна марка вугілля- Табас.

Проведено структурний аналіз чотирьох зразків вугілля Табас. В розрізі проведеного аналізу було відмічено наявність мацералів вітриніту і фюзиніту. Домінуючим мацералом у зразках виявився вітриніт від 70 до 75%.

У роботі розглянуті сучасні, екологічні методи десульфурації вугілля марки Табас за допомогою біофлотації та біовилуговування. Після проведених тестів було відмічено, що за допомогою бактерій можливо добитися зниження вмісту сірки та золи у вугіллі, що покращить його якісні характеристики.

Ключові слова: пиловугільне паливо, вугілля, біофлотація, біовилуговування, зола, сірка, Табас.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Система вдування пиловугільного палива	8
1.2 Вдування пиловугільного палива в Японії	28
1.3 Вугільна база забезпечення промислового впровадження ПВВ-технології	39
1.4 Ресурси вугілля для виготовлення пиловугільного палива	42
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	47
2.1 Вибір марки вугілля	48
2.2 Структурний аналіз вугілля Табас	57
2.3 Зниження вмісту сірки за допомогою біологічної десульфурації	61
2.4 Методика вибору компонентів пиловугільного палива	67
ВИСНОВКИ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85

ВСТУП

У доменному виробництві спостерігається світова тенденція до використання технологій, пов'язаних з економією енергетичних витрат на одиницю продукції. Це відбувається за рахунок використання пиловугільного палива (ПВП) замість частини коксу. Тенденція обумовлена вартістю коксу, яка становить не менше 30-50% собівартості чавуну, а також дефіцитом коксівного вугілля та його низькою якістю. Крім економічних аспектів, необхідно враховувати, що коксохімічне виробництво є одним з найшкідливіших у металургії.

Використання ПВП дозволяє застосовувати автоматизовані системи управління технологічними процесами. Продуктивність доменних печей значно підвищується. ПВП розглядається як джерело енергії за рахунок спалювання вуглецю. Кокс у доменній печі не повністю згорає до CO_2 , а переважно лише до CO . Неповне згорання вуглецю дає лише 110 кДж/моль тепла замість 350 кДж/моль при окисленні до CO_2 . Відомо, що з наявних у земній корі запасів мінерального палива понад 93% - це тверде паливо (вугілля), і лише 7% - рідке та газоподібне (нафта та природний газ). останні 20 років вдування пиловугільного палива освоєно в доменних цехах більш ніж 25 розвинених країн світу. З його використанням виплавляється більше половини річного виробництва чавуну. Витрата пиловугільного палива на 1 т чавуну досягла 170- 290 кг, частка заміни ним коксу становить 35-50%. У ряді країн ведуться роботи з якісного вдосконалення цієї технології з метою збільшення частки коксу ПВП до 60-70%. В останні 20 років нові або реконструйовані доменні печі будуються в комплексі з сучасними пиловугільними установками: Іспанія, Бразилія, Південна Корея, Туреччина та інші країни. Щорічно у світі для ПВП використовується понад 600 млн т вугілля практично всіх відомих марок: антрацит, газове, довгополуменеве, пісне вугілля та інші з широким діапазоном зміни вмісту летких і золи.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Системи вдування пиловугільного палива

За кордоном розроблено дві основні системи для подачі пиловугільного палива у піч; їх вибір залежить від різновиду вугілля, яке вдувається [1].

Система з пневматичною основою, яка створена фірмою «Petrocarb» («Пітроукарб»), США, призначена для вдування сухого вугілля з обмеженою кількістю дрібної фракції. Вугілля готується на спеціальній установці дробарки, яка включає в себе, сушила, які працюють у контурному циклі і замкнені між собою разом з дробаркою. Подрібнене до фракції мінус 0,149 мм вугілля пневматикою подається у бункери видачі установки для вдування, що працюють під тиском рисунок 1.1. Із бункерів видачі у пневмоустановки вугілля подається під тиском з метою запобігання потрапляння в них побічних продуктів плавки, таких як газ з доменної печі. У низ пневмоустановки підводиться стиснене повітря для часткового псевдозжиження вугілля. Установки фірми «Пітроукарб» застосовують у Сполучених Штатах Америки та Великій Британії.

У системі подачі подрібненого вугілля з використанням роторних живильників бункера підготовленого вугілля забезпечуються ваговою системою. Під бункером розташовані живильники – в кількості 1 шт. на дві фурми. Вугілля потрапляє у живильник і ротором направляється до вихідного отвору, де воно підхоплюється повітрям в трубопроводі, що йде у доменну піч. Живильники працюють під тиском. Для визначення витрати вугілля живильники попередньо проходять калібрування. Витрату вугілля регулюють шляхом зміни кількості обертів двигуна живильника.

Подрібнене вугілля по трубопроводу діаметром 38 мм подається до доменної печі. Над фурмами лінії з трубопроводами розділяються на дві – діаметром по 25 мм, які підводять вугілля до суміжних фурм.

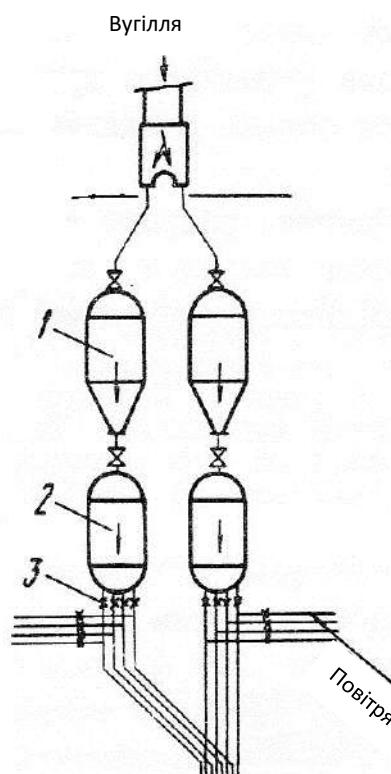


Рис. 1.1. Установка для вдування вугілля конструкції фірми «Пітроукарб», США: 1 – бункер видачі; 2 - пневмоустаткування; 3 – живильники

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [1]

Подрібнене вугілля по трубопроводу діаметром 38 мм подається до доменної печі. Над фурмами лінії з трубопроводами розділяються на дві – діаметром по 25 мм, які підводять вугілля до суміжних фурм.

Вказана система застосовувалася на заводі фірми «National Steel Corporation» («Національна Корпорація Сталі») в Віртоні, США. Фракція вугілля становить 1,6 мм. Витрата повітря, яким транспортується на подачу вугілля від кожного живильника до доменної печі складає від 3,1 м³/хв, тиск від 0,24 до 0,22 МПа в залежності від тиску на повітряних фурмах у доменній печі. Система вдування вугільного палива спроектована таким чином, щоб робота з вдування проводилась без втручання технологічного та ремонтного персоналу, в установці для підготовки вугілля виділено одного технолога в зміну.

Друга різновидність установки, це конструкції фірми «Babcock and Wilcox Co.» («Бейбкок енд Уілок»), США, спроектована на заводі фірми «Armco Steel» («Ермко сталь») у Ейшленді, США; потужність такої установки для вугілля дорівнює 540 т/добу. Загальний схематичний вигляд установки наведений на рис. 1.2. Вугілля фракцією 50-0 мм потрапляє у бункер місткістю 180 т. За магнітної системи, виконаної у формі барабану, з вугілля видаляють сторонні металовмісні предмети. Через два випускні отвори бункера вугілля потрапляє у дві рівнозначні паралельні системи, що транспортують вугілля до всіх повітряних фурм. Живильником конвеєрного типу вугілля завантажується у верхній пропусково- випускний бункер. Через конусний клапан який знаходиться внизу вугілля вивантажують у нижній пропусково- випускний бункер, після його наповнення зачиняється верхній конусний клапан. З нижнього пропусково- випускного бункера вугілля надходить на живильник тарільчастого типу шарового млина-сушарки. Подрібнене й висушене вугілля виходить з газами через обертовий класифікатор, який повертає крупні фракції назад в млин. З млина-сушарки вугілля переміщається у циклон, де відділяється від газової суміші й видається за допомогою обертового клапана. Вугілля знову ферується, його маса надходить у розподільники пляшковий та розділяється на десять однакових потоків.

На заводі фірми «Бритіш стил» у Скенторпі, Великобританія, доменна піч «Королева Мері» була оснащена установкою для пиловугільного вдування. Піч об'ємом 1300 м³, горн з діаметром 8,2 м оснащена 18 повітряними фурмами, гаряче дуття, збагачено киснем до 23 %, із виробництвом по чавуну більш 2 тис. т /добу. Залізородна шихта складається з агломерату (70 %), окатишів (24 %) і добавок (6 %) [2].

Десять пилорозподільчих пристроїв забезпечували вдування вугілля через 12 фурм, витрати якого поетапно збільшували від 2 до 15 кг/хв. Вологість вугілля складала 7-8 %.

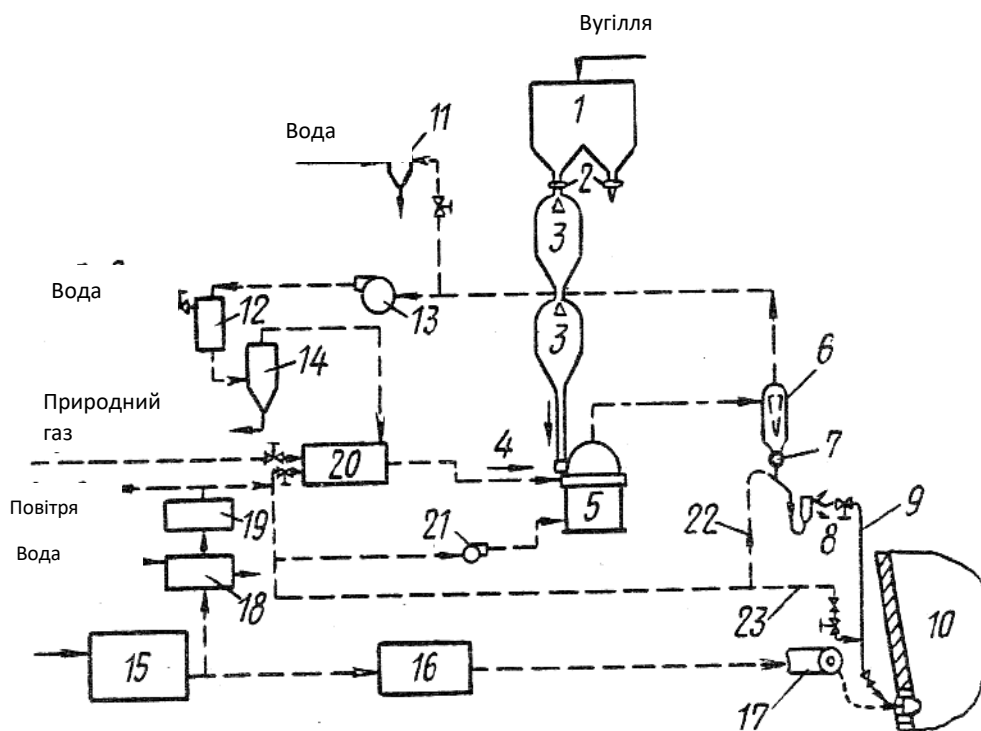


Рис. 1.2. Установа для підготовки й подачі вугілля конструкції фірми «Бейбкок енд Уілок», США

1 - бункер ємністю 180 т; 2 - стрічкові живильники; 3 - пропускні бункери; 4 - живильник; 5 - млин-сушарка; 6 - циклон; 7 - клапан; 8 - розподільник; 9 – лінія подачі пилу; 10 - доменна піч; 11 - скрубєр; 12 - охолоджувач конденсату; 13 - вентилятор первинного повітря; 14 - сепаратор; 15 – установка з подачі повітря; 16 – нагрівачі повітря; 17 - кільцевий повітрьопровід; 18 - охолоджувач; 19 – установка з подачі; 20 - камера спалювання; 21 - вентилятор ущільнюючого повітря; 22 - трубопровід інжекторного повітря; 23 - повітря для продувки трубок

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [2]

Хімічний склад вугілля, що використовувався - різної крупності. Основні показники вугілля наведено в таблиці 1.1.

Як відображено у таблиці, вугілля має високий вихід летких речовин, а також низький вміст золи. Вугілля крупністю менше 250 мкм, близьке до пиловугільної суміші, вдували в кількості 10 кг/хв без утруднень. Вдування

вугілля фракцій < 1, 2 і 3 мм також здійснювалося в задовільному порядку у кількості 12,8 кг/хв. За період із червня 1983 р. по травень 1984 р. було витрачено більше 30 тис. т. вугілля.

Таблиця 1.1

Хімічний склад вугілля різного фракційного складу

Крупність вугілля, мм	Летучі	Зола	C	S	H ₂	N ₂	O ₂
< 0,25 < 1 < 2	37,8	3,40	78,39	1,45	5,14	1,81	9,81
< 3,0	35,0	4,20	78,49	1,62	5,09	1,72	8,88
> 3,0	36,9	2,90	83,20	1,33	5,40	1,66	5,51

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [2]

З бункера-накопичувача вугілля надходить у промбункер, при заповненні якого тиск стає рівним з тиском у видатковому бункері, після чого вугілля транспортується в останній. Після того, як проміжний бункер розвантажиться, тиск у ньому стає рівним атмосферному тиску. Для того, щоб вдування проходило рівномірно у нижній частині видаткового бункера є десять випускних отворів, ці отвори розташовано симетрично; у верхній частині бункера встановлено фільтр для очищення повітря, вихід якого відбувається у момент заповнення бункера. Окрім цього, у бункері встановлені термопари для регулювання та контролю температури.

Якщо температура вище ніж 41 °С – відбувається подача звукового сигналу. Вугілля надходить до фурм по пневмопроводу кожен з яких має діаметр 37 мм. Витрата повітря становила більше 2 м³/хв. Особливе значення надавалося вибору оптимальної швидкості подачі повітря для запобігання руйнування і в подальшому виходу з ладу трубопроводів і повітряних фурм. Найбільші руйнування внутрішньої поверхні спостерігалося в колінах трубопроводів і незначні – на прямих ділянках. Руйнування колін, що підводяться до трубопроводів усунуто за допомогою застосування спеціальної

марки чавуну. У результаті такі ділянки трубопроводу перебували в експлуатації понад календарний рік, і обстеження показало можливість їх подальшої експлуатації.

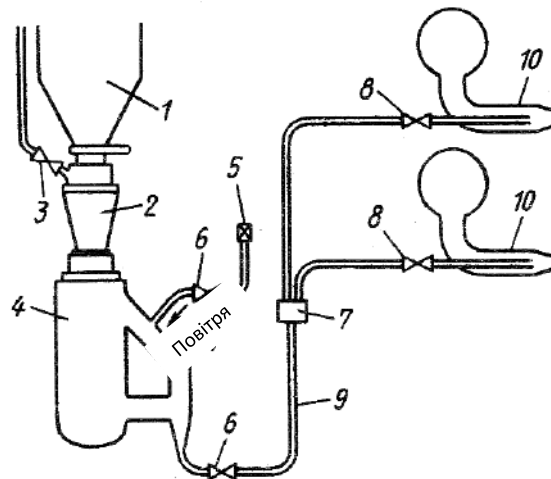


Рис. 1.3. Схема установки для вдування пиловугільного палива фракції менш 3,0 мм у доменну піч «Королева Мері»

- 1 - накопичувальний бункер; 2 - проміжний бункер; 3 - очисний клапан;
 4 - видатковий бункер; 5 - компресор; 6 - регулювальний клапан;
 7 - пилорозподільний пристрій; 8 - витратоміри; 9 - магістраль подачі вугілля;
 10 - повітряна фурма

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [4]

Нижче в таблиці 1.2 наведені показники роботи доменної печі «Королева Мері».

У якості стартового періоду роботи доменної печі було обрано період вдування невеликої кількості пиловугільного палива (0,6 кг/т чавуну) за допомогою спеціалізованої дослідницької установки (вересень-листопад 1982 р.). Вдування значно більшої кількості вугілля почалося із січня 1983 р., що поліпшило газодинамічні умови роботи доменної печі. Шихта сходила рівномірно, практично не спостерігалось її запирання або спадів.

Використання вугілля фракції менше ніж 3,1 мм привело до зниженої витрати коксу з 488 кг/т чавуну в 1982 р. до 426 кг/т в 1984 р., виробництво домни підвищилось з 1959 до 2323 т/добу.

Розрахунки показали, що коефіцієнт заміни коксу вуглецем пиловугільного палива склав 0,8-0,9 кг/ кг вугілля з високим виходом летких речовин і зниженим вмістом золи. У другій половині березня 1984 р. коефіцієнт заміни коксу пиловугільним паливом становив 1,24 кг/кг вугілля.

Таблиця 1.2

Показники роботи доменної печі «Куїн Мері»

Показник	Вересень-Листопад 1982 р. (без вдування вугілля)	Березень 1984 р. (з вдуванням вугілля)
Продуктивність, т/добу	1959	2323
Витрата, кг/т чавуну:		
палива	489,5	467,7
У тому числі:		
коксу (сухого)	488,9	426
вугілля (сухого)	0,6	41,7
Дуття:		
витрата, м ³ /хв	1960	2005
температура, °С	844	903
вміст кисню в дутті, %	22,06	22,95
вологість, г/нм ³	14,5	22,6
Теоретична температура горіння коксу, °С	2104	2084
Колошниковий газ:		
температура, °С	151	159
вміст СО, %	47,9	48,5
Чавун:		
температура, °С	1507	1484

Продовження таблиці 1.2

Показник	Вересень-Листопад 1982 р. (без вдування вугілля)	Березень 1984 р. (з вдуванням вугілля)
вміст, %		
C	4,22	4,01
Si	1,06	0,89
Mn	0,60	0,42
P	0,156	0,148
S	0,065	0,080
Шлаки:		
вихід, кг/т чавуну	318	272
основність	0,96	0,93
вміст, %:		
MgO	5,9	7,7
Al ₂ O ₃	10,4	11,1

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [3]

Із вдуванням пиловугільного палива робота доменної печі «Королева Мері» стала стабільнішою, зниження витрат коксу мали позитивну динаміку, значення коефіцієнта заміни коксу пиловугільним паливом була близькою до значення коефіцієнта заміни коксу при вдуванні пиловугільного палива (фракції менш 0,076 мм). У середині 1984 р. почала працювати подібна установка на доменній печі «Королева Бесс» і було завершено будівництво установки для вдування пиловугільного палива, яке буде застосовуватися на доменній печі «Королева Вікторія», і її виробництво складатиме 345 т/добу при витраті 115 кг подрібненого вугілля/ т чавуну.

На двох домнах А та В заводу фірми «Sidmar» («Сідмер») у Генті, Королівство Бельгія, з 1987 р. здійснюється вдування пиловугільного палива у горн домни. До 1987 р. нестачу коксу власного виробництва компенсували вдуванням природного газу, а також частково – імпортом коксу. Повернення до технології доменної плавки на стовідсотковому коксі означав би не тільки його заміну природнім газом, але й в той самий момент збільшення загальної витрати палива [3].

Тому фахівцями підприємства була розроблена технологічна можливість вдування пиловугільного палива з урахуванням вже існуючого досвіду на доменних печах в сусідніх європейських країнах. Економічні розрахунки, дослідження й аналіз результатів експлуатації перших великих установок по вдуванню дробленого вугілля дозволили виділити наступні переваги технології вдування пиловугільного палива:

- капітальні вкладення знизились на 25 % у порівнянні з капіталовкладеннями на будівництво коксових батарей;

- низький строк окупності, не дивлячись на те, що капіталовкладення по будівництву устаткування для подачі природного газу або мазутної суміші трохи нижче в порівнянні з капіталовкладеннями на будівництво установки подрібнення – сушіння й вдування вугілля, але вартість пиловугільного палива настільки знижена, що вдування вугілля найбільш прибуткове (табл. 1.3);

- можливість заміни більшої частини коксу пиловугільним паливом, може бути недосяжним при вдуванні природного газу або мазутової суміші без зниження температури у фурменій зоні. У таблиці 1.4 відображені результати економічних розрахунків математичної моделі при вдуванні різних видів палива французького Центру металургійних досліджень (CRM).

Виходячи з вище викладеного, фірма «Сідмер» встановила установки для вдування подрібненого вугілля домени А та В, розроблені фірмою «Паул Вьют». Установка по підготовці й вдуванню пиловугільного палива розрахована на виробництво 1540 т/добу вугілля при максимальній витраті вугілля 180 кг/т чавуну. При виборі обладнання основна увага була приділена стійкості, надійності, питання ремонту, поточного відновлення й технічного обслуговування, а також зменшенню споживання енергоресурсів.

Установка по підготовці вугілля до вдування складається з двох ліній – по подрібненню й сушці вугілля – повністю автономних одна від другої, продуктивність по виробництву вугілля яких складає окремо по 770 т/добу.

Таблиця 1.3

Порівняння економічних показників при вдуванні різних видів палива (ціни на паливо за 1987 р.)

Показники	Вид палива		
	Природний газ	Мазутна суміш	Пиловугільне паливо
Питома витрата, кг/т чавуну	45	60	100
Вплив на поточну собівартість 1 т чавуну, \$	+ 1,84	- 0,83	- 5,81
Капітальні вкладення, \$106	2,67	6,65	26,65
Строк окупності, років	-	3	1,7

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [3]

Таблиця 1.4

Результати вдування різних видів енергоносіїв, отриманих французьким Центром металургійних досліджень

Показники	Вид палива		
	Природний газ	Мазутна суміш	Вугілля
Витрата палива, кг/т чавуну	40	54	91
Витрата коксу, кг/т чавуну	- 46,8	- 74,6	- 88,2
Витрата дуття, м3/т чавуну	- 145,6	- 153,9	- 153,6
Тепломісткість, МДж/т чавуну	+ 143,7	+ 129,3	+ 129,9
Дуття	+ 224,8	+ 168,1	+ 120,4
Газ доменний	+ 382,7	+ 371,9	+ 317,8

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [3]

Схематичне зображення установки для підготовки вугілля до вдування продемонстровано на рис. 1.4. Установка дроблення й сушіння призначена для

обробки вугілля з вмістом летючих не більш 40 %, вмістом вологи не більше 13 % і крупністю не більше 50 мм. Крупність готового пиловугільного палива повинна становити 90 % < 90 мкм вологістю менш 1 %.

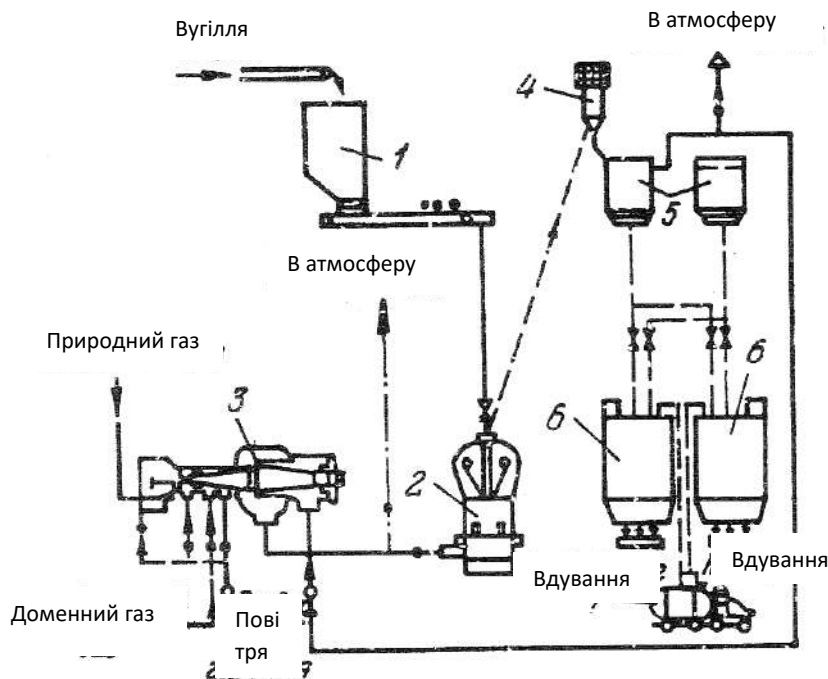


Рис. 1.4. Схема підготовки вугілля до вдування

- 1 - бункер вихідного вугілля; 2 - дробарка; 3 - генератор; 4 - антивибуховий клапан; 5 - фільтра; 6 - бункера зберігання пиловугільного палива;
7 - розвантаження з вантажівок пилоподібного вугілля

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [5]

Схема установки для вдування пиловугільного палива по системі «Пол Вьюрт» зображена на рис. 1.5. Згідно технічної документації потужність установки при роботі трьох бункерів повною ємністю 22 м³ кожний становить 770 т/доба вугілля, при роботі двох бункерів – 684 т/доба вугілля. Усі бункери встановлені на пристроях, що зважують, для визначення загальної кількості вугілля, що вдувається в домну, а також для визначення витрати вугілля у реальному часі, яке вдувається. Ця величина контролюється автоматично й безперервно відображається на пульт керування. Ця система вдування

повністю автоматизована. Використання інертного газу в установці для вдування є важливим чинником безпеки. Для контролю над підвищеною температурою у трактах дуття, у рукавах фільтрів встановлені датчики температури, тиску, вмісту оксиду вуглецю й кисню. Для усунення дії статичної енергії особливу увагу приділяють заземленню.

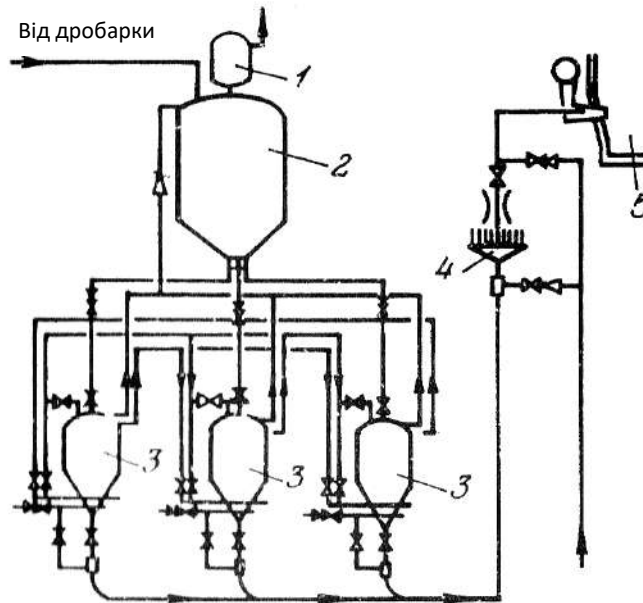


Рис. 1.5. Схема установки для вдування пиловугільного палива
по системі «Пол Вьюрт» на доменних печах А та В фірми «Сідмер» у Генті
1 - фільтри; 2 - бункер зберігання пиловугільного палива; 3 - бункер для
вдування (3 шт.); 4 - розподільчий пристрій; 5 - доменна піч

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [6]

Характеристики застосовуваних видів вугілля наведені в табл. 1.5.

Вдування пиловугільного палива застосоване і на доменних печах №6; №7 обсягом 2400 м³ і 3520 м³ відповідно, заводу фірми «Хоовенс» в Еймйдені, Нідерланди [4]. Після стрімкого підвищення цін на нафтопродукти в 1980 р. витрата мазутної суміші, яка вдувається, поетапно зменшувалась і в 1982 р. її вдування було повністю зупинене.

Таблиця 1.5

**Характеристика застосовуваних видів вугілля на доменних печах
А та В заводу фірми «Сідмер» у Генте, Бельгія**

Показники	Вид вугілля				
	А	В	С	Д	Е
Вихід летких речовин, %	23,2	36,7	32,3	25,2	33,2
Золи	13,7	9,5	10,3	9,6	7,4
S	0,44	0,61	0,64	0,50	0,62
С	71,2	73,8	73,6	78,0	77,6
Н	4,0	5,1	4,5	4,5	4,8
N	1,6	1,8	1,9	1,8	1,9
Теплота згоряння, кДж/кг	28340,4	30890,2	33168,3	30647,7	31383,4

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [7]

У зазначений період через реконструкцію коксового цеху його основні фонди використовувались тільки на 86 %. З урахуванням потреб у коксі, яке необхідно для роботи двох доменних печей, його недостача становила 0,55 млн. т/рік. У результаті всебічного аналізу було встановлено, що загальні витрати на спорудження високопродуктивної установки для вдування пиловугільного палива значно менші, ніж на збільшенні кількості основних фондів по виробництву коксу при роботі доменних печей повністю на коксі. Тому підприємство прийняло рішення про оснастку доменних печей №№ 6 і 7 системами вдування подрібненого вугілля. У липні 1983 р. розпочала свою роботу установка для вдування пиловугільного палива в горн доменної печі за технологічними параметрами, розробленою фірмою «Арамко», США, що забезпечує витрату вугілля на рівні 85 кг/т чавуну.

На рис. 1.6 зображена стандартна схема системи вдування пиловугільного палива, яка використовувалась в цих домнах.

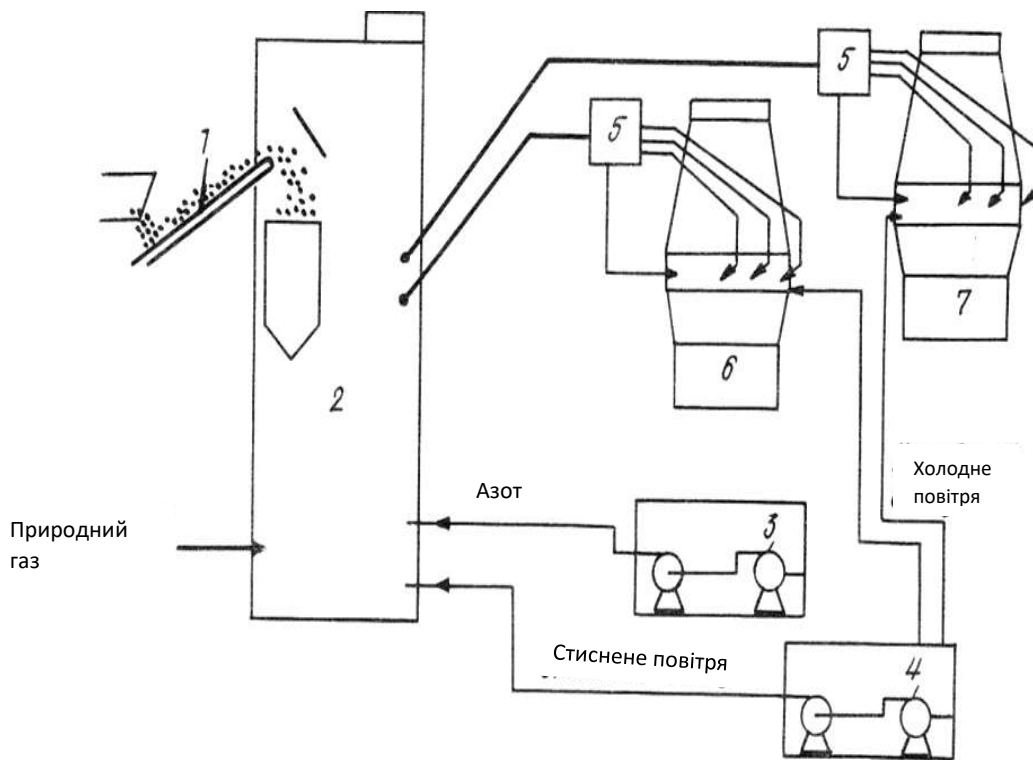


Рис. 1.6. Стандартна схема системи вдування пиловугільного палива, використовувана на доменних печах № 6 і № 7 заводу в Еймідені.

1 - конвейєра для подачі вихідного вугілля (пропускна здатність 200 т/год);
 2 - дві подрібнювальних установки; 3 - киснева станція; 4 - компресорна;
 5 - розподільник; 6 і 7 - доменні печі №6 і №7 відповідно.

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [8]

Все технологічне устаткування розміщене у єдиному приміщенні. Система вдування палива складається з двох основних систем: підготовки вугільного пилу й розподілу цього пилу по фурмах.

Схема установки для вдування пиловугільного палива на доменних печах №6 і №7 в Еймідені по способу «Арамко» зображена на рис. 1.7.

Вихідне вугілля подається конвеєрами в вуглепідготовче відділення. Перед завантаженням вугілля у вугільні бункери його попередньо сортують. Для помелу вугілля є дві системи подрібнення загальною потужністю по 30 т/год.

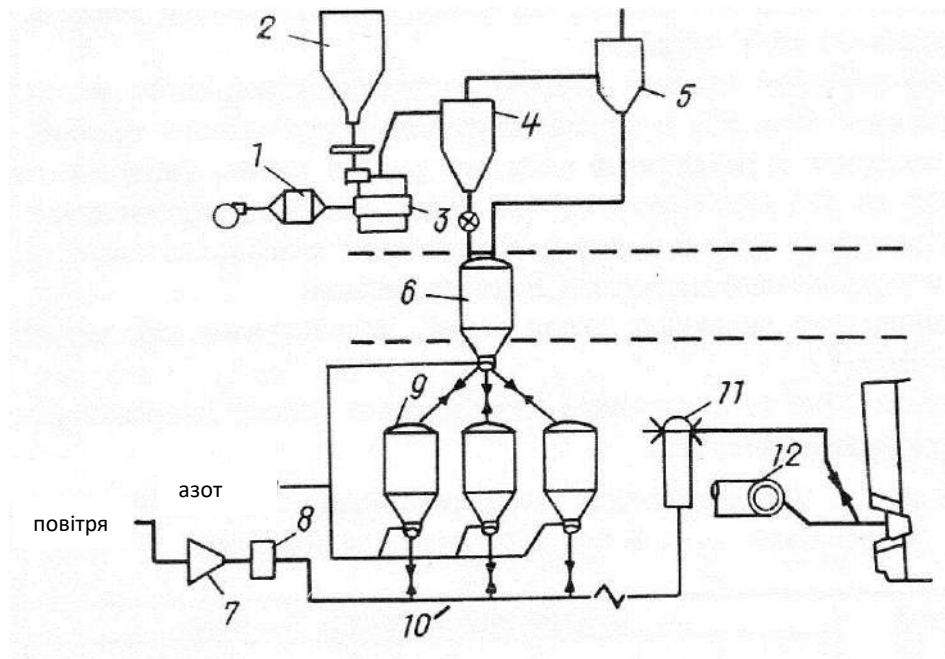


Рис. 1.7. Схема установки для вдування пиловугільного палива по способу «Арамко», використовуваної на доменних печах №6 і №7 в

Еймідені:

- 1 - повітрянагрівач; 2 - вугільний бункер; 3 - дробарка тонкого помелу;
 4 - первинний сепаратор; 5 - пристрій остаточного очищення; 6 - бункер зберігання вугільного пилю;
 7 - компресор; 8 - охолоджувач;
 9 - видаткові бункери; 10 - транспортний трубопровід; 11 - розподільний пристрій; 12 - кільцевий повітропровід

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [9]

Ці дві системи складаються з вугільного бункера, живильника для регулювання витрати вугілля яке подається в млин, валкового млина, циклонного пиловловлювача й трьох рукавних фільтрів, один з яких – резервний. За допомогою установки з вдування повітря й нагрівання повітря в млин надходить нагріте повітря. Після здрібнювання вугілля подається в бункер зберігання вугільного пилю.

Вугілля під дією сили ваги видається з бункера зберігання в три видаткові бункери, які встановлені паралельно й працюють в автономному режимі. З видаткових бункерів пиловугільне паливо по трубопроводу

транспортується до розподільного пристрою. Пиловугільне паливо подається на фурми за допомогою охолоджуємих повітрям трубок для вдування.

Зберігання пилу проводиться тільки в бункерах з інертною атмосферою.

Витрата пиловугільного палива спочатку була на мінімальному рівні. Так, з метою перевірки надійності устаткування протягом перших п'яти днів роботи системи подрібненого вугілля, що вдувається, у доменну піч №6 був на рівні 30 кг/т чавуну. Через 30 днів після початку експлуатації витрати поступово збільшились до 50, а згодом до 130 кг/т чавуну.

На доменній печі №7 витрата пиловугільного палива, яке вдувалось, підтримували на позначці 90 кг/т чавуну.

Велика увага приділялася системі завантаження метало-рудної частини шихти й коксу. Так, на доменній печі №6 у період вдування пиловугільного палива поступово виконали перехід від змішаного до роздільного завантаження рудної частини та коксу. Характеристика різних типів вугілля, які використовувались для вдування у домну, відображена в табл. 1.6. До квітня 1985 р. у доменну піч вдували тільки вугілля з низьким вмістом золи і з високим вмістом летючих.

Показники роботи доменних печей №№ 6 і 7 підприємства фірми «Хоовенс» в Еймідені при роботі тільки на коксі й при вдуванні пиловугільного палива відображені в табл. 1.7. Робота цих домн у період 1983-1985 рр. із вдуванням пиловугільного палива підтвердила надійність системи вдування, що поставляється компанією «Арамко». Однак вдування вугілля деяких марок приводило до забивання ліній трубопроводу на ділянці між розподільним пристроєм і фурмами, тому від їх використання довелося відмовитись. Сажові відкладення при високих витратах пиловугільного палива (до 130 кг/т чавуну) не спостерігались.

Вдування пиловугільного палива запроваджене на доменній печі №2 корисним об'ємом 1600 м³ заводу фірми USINOR (ЮСІНОР) у Дьюнкерку, Франція, в 1983 р. домна складалась з 23 повітряних фурмам, і задувка виконувалась після повної заміни футерування у 1982 р. [5].

Таблиця 1.6

**Характеристика вугілля різних типів, що вдуваються
в доменні печі №№6,7 заводів в Еймідені**

Склад вугілля	Вміст у вугіллях, % типу				
	A	B	C	D	E
Летючі	36,2	32,0	34,5	32,5	33,0
Зола	3,7	6,0	6,5	7,5	4,6
S	0,95	0,91	0,64	0,62	0,77
C	81,5	81,2	78,9	78,1	82,5
H	5,1	5,1	5,0	4,8	5,2
O	7,0	5,6	7,7	7,8	5,2
Фракція:					
– 150 мкм	98	98	98	98	98
– 75 мкм	83	80	79	83	82

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [10]

Пиловугільне паливо виробляють у цеху подрібнення та сушіння, встановленому на території шихтового двору поруч із майданчиком для розвантажування. Вугілля завантажується у приймальну накопичувальну ємність з об'ємом 375 м³ за допомогою підйимально - транспортних механізмів.

Після відсіювання вугілля вологістю 9-11 % подрібнюється в шаровому млині, до якого підведено гарячий газ для сушки. При виході із млина газовугільна суміш має температуру 86 °С. Отримане пиловугільне паливо складається в бункері загальним об'ємом 500 м³, який розташований поруч з ділянкою здрібнення й сушки. Пневмолінією паливо із цього бункера доставляється в приймальний бункер тонкоздрібненого вугілля, що входить в установку для вдування вугілля, сконструйовану фірмами ARBEED і «Paul Wurth» (АРБІД і «Пол Вьюрт»), Люксембург.

Таблиця 1.7

**Показники роботи доменних печей №№6,7 підприємства фірми
«Хоовенс» в Еймідені**

Показники	Періоди роботи доменної печі							
	№6				№7			
	1983 р.		1984/85р 12-01	1985р. 01-03	1983р. 06-08	1984 р.		
	03-06	08-09				01-02	05	09-10
Продуктивність печі, т/добу	4543	4613	4469	4595	7114	6798	7734	6866
Продуктивність печі, т/(м ³ *добу)	2,29	2,37	2,32	2,44	2,05	2,10	22,16	2,11
Витрата, кг/т чавуну:								
коксу	533	447	390	389	491	424	406	414
вугілля	0	49	114	129	0	72	81	87
Вміст золи, %:								
у коксі	8,2	8,6	8,9	9,2	8,6	9,0	8,6	8,9
у ПВП	-	4,0	4,7	6,1	-	5,6	5,9	5,6
Дугтя:								
витрата, м ³ /хв	3347	4179	3909	3940	5664	5785	5753	5715
вміст кисню, %	-	-	22	23,3	-	21,3	22,0	21,7
температура, °С	1022	1138	1109	1116	1114	1238	1229	1226
вологість, г/м ³	27	18	12	12	22	18	14	20
Колошниковий газ:								
тиск, МПа	0,136	0,145	0,137	0,137	0,207	0,21	0,216	0,226
температура, °С	132	161	153	148	126	144	133	145
Вміст, %								
СО	22,2	22,1	22,3	23,0	21,7	22,1	22,1	22,1
СО ₂	20,4	20,6	20,8	21,8	21,0	20,7	21,7	21,3
Вміст у чавуні, %:								
Si	0,58	0,53	0,52	0,48	0,51	0,58	0,54	0,55
S	0,027	0,033	0,028	0,031	0,029	0,025	0,025	0,023
Температура чавуну, °С	1509	1499	1488	1490	1496	1475	1489	1498
Уточнений коеф. заміни коксу вугіллям, кг/кг	-	0,82	0,92	0,88	0,82	0,78	0,83	0,88

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [10]

Схема вдування пиловугільного палива по системі «Пол Вьюрт» показана на рис. 1.8.

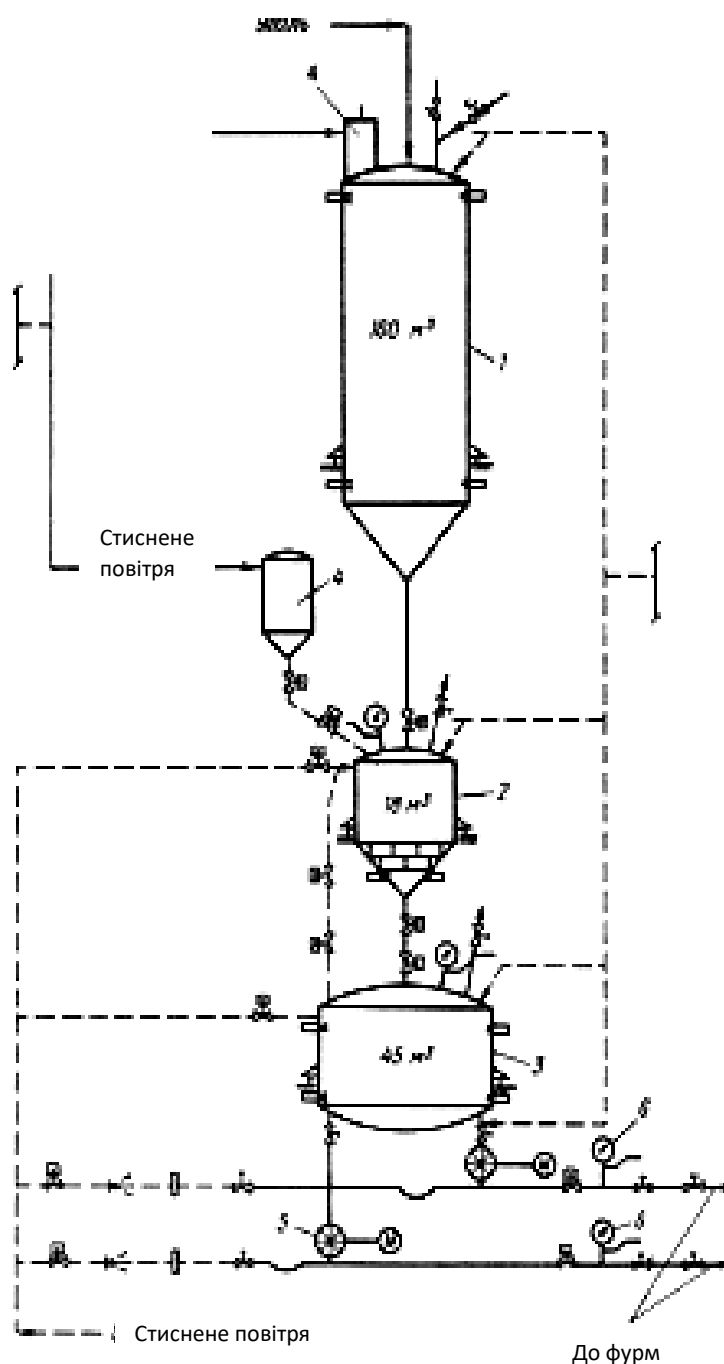


Рис. 1.8. Принципова схема вдування пиловугільного палива по системі «Пол Вьюрт»:

1 - прийомний бункер тонкоподрібненого вугілля; 2 - дозуючий бункер зі шлюзовим затвором; 3 - розподільний бункер; 4 - фільтр; 5 - витратомір вугільного пилу; 6 – манометр

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [11]

Установка по вдуванню складається із приймального бункеру тонкоздрібненого вугілля (об'ємом 160 м³), дозуючого (18 м³) і розподільного (45 м³) бункерів. Установка має висоту – 33 м. Усі бункери змонтовані на пристроях, що проводять зважування.

Розподіл пиловугільного палива по фурмах ведеться за допомогою затворів шлюзового типу з комірними живильниками, кожний з яких регулює подачу вугілля.

Розподільчий бункер з 22 вихідними отворами обладнаний комірними затворами з різною пропускною здатністю.

Наявність таких затворів шлюзового типу дозволяє регулювати витрати палива, що вдувається, залежно від витрати дуття через фурми. Витрата пиловугільного палива можна контролюватися шляхом виміру втрат тиску в кожному трубопроводі, що підводиться. Точність дозування по фурмах становить 4 %.

Стиснуте повітря, попередньо просушене і охолоджене, яке надходить із системи подачі дуття в доменну піч, є газоносієм.

У лініях для подачі пиловугільного палива мінімальна швидкість транспортування повинна становити таку, щоб була змога попередити осадження або зависання вугілля (11 м/с).

Датчики витрати вугілля, установлені на кожній підводящій лінії, дозволяють виявити можливі невідповідності у всій системі вдування.

Система вдування пиловугільного палива повністю автоматизована. Робота домни з поступовим збільшенням витрати пиловугільного палива, яке вдувається, у середньому з 55 до 105 кг/т чавуну протікала в умовах рівного сходу шихти.

При високій витраті вугілля (до 130 кг/т чавуну) порушень ходу доменної печі не спостерігалось.

Основні техніко-економічні показники роботи доменної печі відображено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8

Показники роботи доменної печі із вдуванням пиловугільного палива

Показники	1983 р. (середні за рік)	1984 р.		1985 р.	
		Березень	Грудень	Лютий	Березень
Витрата матеріалів, кг/т чавуну: палива	483	480	491	479	478
У тому числі:					
ПВП	9	63	111	124	131
Кокс	446	417	380	355	347
Мазутна суміш	7	-	-	-	-
Смоли	21	-	-	-	-
Дуття:					
Температура, °С	1091	1097	1143	1136	1132
Вологість, г/м ³	12	18	7	4,53	6,16
Витрата, тис. м ³ /год	153,3	165,6	163,0	163,3	160,2
Вихід шлаку, кг/т чавуну	301	302	296	309	311

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [11]

1.2 Вдування пиловугільного палива в Японії

Вдування пиловугільного палива за технологією фірми «Арамко», США, було розпочато на заводі фірми «Сейн ніппон сейтедзу» в Оїте. Технологія вдування, спроектована фірмою «Армко», впроваджувалась до застосування на доменних печах заводу в Ейшленді. Але печі в Ейшленді й Оїте суттєво відрізняються за обсягом і умовам роботи, тому фірма «Сейн

ніппон сейтедзу» вирішила використати цю технологію. На доменній печі №2 корисним об'ємом 5070 м³ заводу в Оїте провели чергу попередніх дослідницьких плавок. Пиловугільне паливо вдували в район горну доменної печі тільки через декілька повітряних фурм. У досліджуваному періоді були вивчені умови горіння пилу з вугілля, а також зміни суміші газового потоку по довжині зони окислення. У ході досліджень було виявлено, що притаманною рисою процесу горіння при вдуванні пиловугільного палива є його швидке горіння перед фурмами. Ділянки вмістом СО і СО₂ був максимальним (тобто зона повного згорання часток вугільного пилу) значно наближені до стінки печі в порівнянні з веденням доменної плавки виключно на коксі. Тенденція підсилюється з збільшенням кількості пиловугільного палива [6].

Спочатку ПВП вдували масовою часткою 20 кг/т чавуну. При збільшенні його до 40 кг/т чавуну процеси горіння протікали успішно, надалі передбачається довести витрату ПВП до 100 кг/т чавуну. Аналіз технологічного ходу домени при вдуванні вугільного пилу показав, що при роботі печі тільки на коксі створювалися більш сприятливі умови для стабільного ходу плавки чавуну.

За результатами досліджень був зроблений висновок, що ПВП можна використовувати й на доменних печах більшого об'єму, що працюють з високими температурами дуття й тиском газу під колошником. За результатами досліджень, які були виконані на доменній печі №2, була розроблена пром- установка для вдування пиловугільного палива на доменній печі №1 цього ж підприємства (корисним об'ємом 4158 м³ і потужністю 10 тис. т/доба). Для вдування буде використане тоще вугілля фракцією менш ніж 0,075 мм. Прийнято застосовувати вугілля з високим вмістом летючих і низьким рівнем зольності.

Установка була запущена в 1981 р., її продуктивність – на рівні 1000 т/доба, Схема установки зображена на рис. 1.9. Вугілля вдувають у доменну піч через усі повітряні фурми. Нижче в таблиці 1.9 відображені показники роботи доменної печі №1 заводу в Оїте без вдування (квітень 1981 р.) і із

вдуванням (серпень 1981 р.) ПВП. Технологія вдування пиловугільного палива в горн доменної печі застосована на заводі фірми «Койбе сеїкосе» у Какоаве, Японія. Доменна піч №2 об'ємом 3850 м³ і протужністю 8 тис. т/доба обладнана для роботи на підвищеному тиску газу під колошником (245 кПа) і високою температурою дуття (1200 °С) [7].

Пиловугільне паливо вдували згідно технології, розробленої спільно фірмами «Іскавадзіма-Харім дзюког», Японія, і «Paul Wurth» («Пол Вьюрт»), Люксембург. По скороченим позначенням фірм, цей спосіб одержав назву ІХІ-ПВ (ІНІ-РВ).

Таблиця 1.9

**Показники роботи доменної печі №1 заводу в Оїте
без вдування (квітень 1981 р.) і із вдуванням (серпень 1981 р.)
вугільного пилу**

Показники	Без вдування	Із вдуванням
Питома продуктивність, т/(м ³ *доба)	1,73	1,74
Витрата, кг/т чавуну:		
Палива	466,8	463,4
у тому числі:		
Коксу	466,8	411,2
Вугільного пилу	-	52,2
Дуття:		
Температура, °С	1275	1298
Вологість, г/нм ³	29,5	10,5
Вміст золи, %:		
У коксі	11,1	11,2
У вугіллі	-	6,6

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [12]

Пилоугільне паливо об'ємом 3 т/ч вдували через чотири фурмені прибори доменної печі (усього 34 фурми), до яких паливо подавалося по товстостінних трубопроводах.

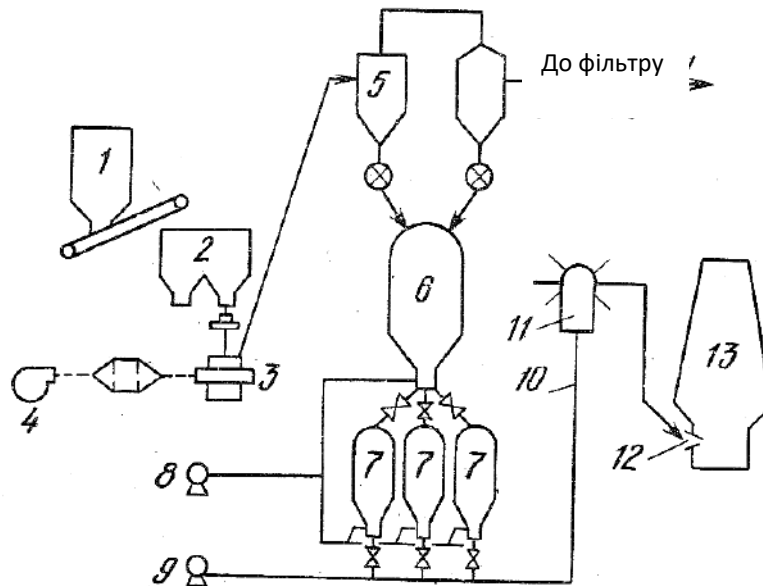


Рис. 1.9. Схема установки для вдування пилоугільного палива

- 1 - прийомний бункер; 2 - проміжний бункер; 3 - млин тонкого помолу;
 4 - вентилятор; 5 - циклон; 6 - накопичувальний бункер вугільного пилю;
 7 - видаткові бункери; 8 - компресор азоту; 9 - компресор повітря;
 10 - пилопровід; 11 - пилерозподільна установка; 12 - повітряна фурма;
 13- доменна піч

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [13]

Вміст фракції мінус 0,075 мм у пилоугільнім паливі становив 80%, вологості палива, що вдувається, 1-3,5 %.

Схема установки по вдуванню пилоугільного палива зображена на рис. 1.10.

Підготовка пилоугільного палива включає подрібнювання вугілля, що зберігається в спеціальних ємностях й за потреби видачі з неї, а також сушіння подрібненого вугілля повітрям з високою температурою.

Після млина вугілля проходить через циклон і таканинний фільтр і надходить у ємність для зберігання, звідки транспортується живильником у дозуючий бункер. З дозуючого бункера в струмені газу, який виконує роль носія, пиловугільне паливо подається в промбункер, установлений поблизу печі. Цей бункер перебуває на кордоні двох систем: системи нормалізованого тиску (ємність для зберігання й дозуючий бункер) і системи підвищеного тиску (розподільний бункер, у який пил надходить у певній кількості, і пристрій для вдування).

Розподільний бункер, розташований нижче проміжного, постійно перебуває під тиском, що є вищим тиску у доменній печі приблизно на 0,25 МПа. У нижній частині розподільного бункера є видаткові сопла, число яких відповідає кількості фурм, що обслуговуються бункером.

Особливістю способу ІНІ-РВ є регулювання витрати пиловугільного палива, що вдувається, по фурмах відповідно витраті дуття через кожну фурму за допомогою спеціального видаткового обертового клапана. Міняючи число обертів обертового клапана, можна міняти витрату пиловугільного палива по фурмах.

Схема, що регулює співвідношення витрат палива й дуття зображена на рис. 1.11. Використовуючи поточну систему, регулюють витрати пиловугільного палива по фурмених приборах відповідно до витрати дуття через кожен фурмений прибор, який у свою чергу пов'язаний з газопроникністю стовпа шихти у відповідних зонах печі й іншими параметрами режиму її роботи.

Пиловугільне паливо потряпляє у горн доменної печі №1 обсягом 4000 м³ заводу фірми «Сейн ніппон сейтедзу» у Нагое, Японія [8].

При застосуванні вугільного пилу питома продуктивність доменної печі зростала з 2,2 т/(м³·добу) до 2,51 т/(м³·добу), вологість дуття змінювалася нерівномірно й за період роботи установки встановилась на рівні 21-31 г/м³, температура дуття підвищилась з 1116 до 1305 °С, а витрата дуття з 6500 до 6800 м³/хв.

При цьому були відсутні обриви шихти із травня по серпень 1984 р.. Витрата коксу (без вдування ПВП) становила 490 кг/т чавуну. Вдування вугілля почали з витрати 22 кг/т чавуну, при цьому витрата коксу відразу знизилась до 475 кг/т. Збільшення витрати вугілля до 60 кг/т сприяло зниженню витрати коксу до 460 кг/т чавуну.

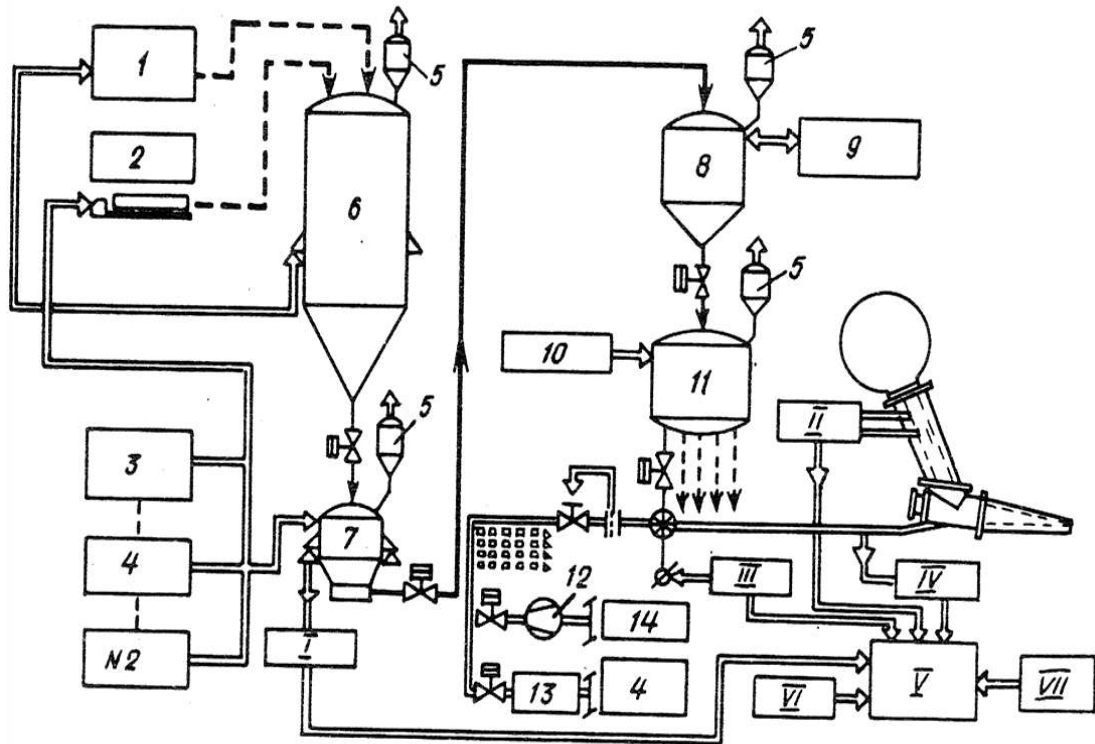


Рис. 1.10. Схема установки для вдування пиловугільного палива в доменну піч №2 заводу в Какоаве по способу ІІІ-РВ

1 – установка для одержання пиловугільного палива; 2 – устаткування для приймання пиловугільного палива; 3 – компресор; 4 – пневмосистема; 5 – фільтр; 8 – бункера; 6 – головний; 7 – дозуючий; 8 – проміжний; 9 – система вирівнювання й скидання тиску; 10 – система вирівнювання тиску; 11 – розподільний бункер; 12 – бустер; 13 – для осушення повітря; 14 – трубопровід; I – витрата пиловугільного палива; II – дуття; III – частота обертання клапана; IV – витрата пиловугільного палива; V – цифровий контролер; VI – загальна витрата дуття; VII – настроєчні значення

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [13]

Для покращення газопроникності шихти й стабілізації ходу печі регулювали розподіл шихтових матеріалів під колошником так, щоб підтримувати переважно газовий потік по осі. Це сприяло стабілізації режиму доменної плавки, піч працювала стабільно. Суттєво знизився вміст кремнію в чавуні (з 0,35 до 0,25 % у середньому), а вміст сірки в ньому в грудні 1984 р. становив 0,027 %.

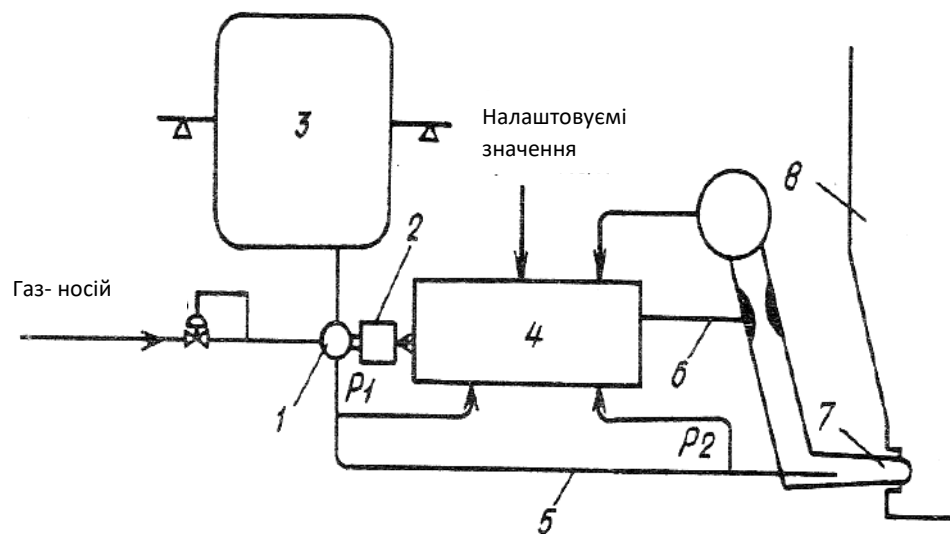


Рис. 1.11. Схема регулювання співвідношення витрат пиловугільного палива й дуття

1 - видатковий обертовий клапан; 2 - електродвигун; 3 - розподільний бункер; 4 – мікро-ЕВМ; 5 - лінія подачі пиловугільного палива;

6 - трубопровід дуття; 7 - фурма; 8 - доменна піч

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [14]

Таким чином, домена без ускладнень була виведена на режим роботи із застосуванням пилоподібного вугілля, у результаті чого хід печі встановився стабільно, максимальна питома продуктивність становила 2,51 т/(м³·добу) і якість чавуну підвищилася.

Доменна піч №5, об'ємом 2584 м³ на заводі фірми «Кавасакі сэйтэдзу» у Тібіа, Японія, з 1984 р. працює із вдуванням пиловугільного палива в горн печі

[9]. Система вдування розроблена разом з фірмою «Danca Engineerings» («Данца інжинірингс»), США, дозволяє заводити через фурми доменної печі не тільки вугілля, але й різні порошкоподібні матеріали – подрібнену руду, порошкоподібний вапняк, конвертерний пил, що вдуваються відокремлено або разом з пиловугільним паливом. Технологічна схема системи вдування зображена на рис. 1.12.

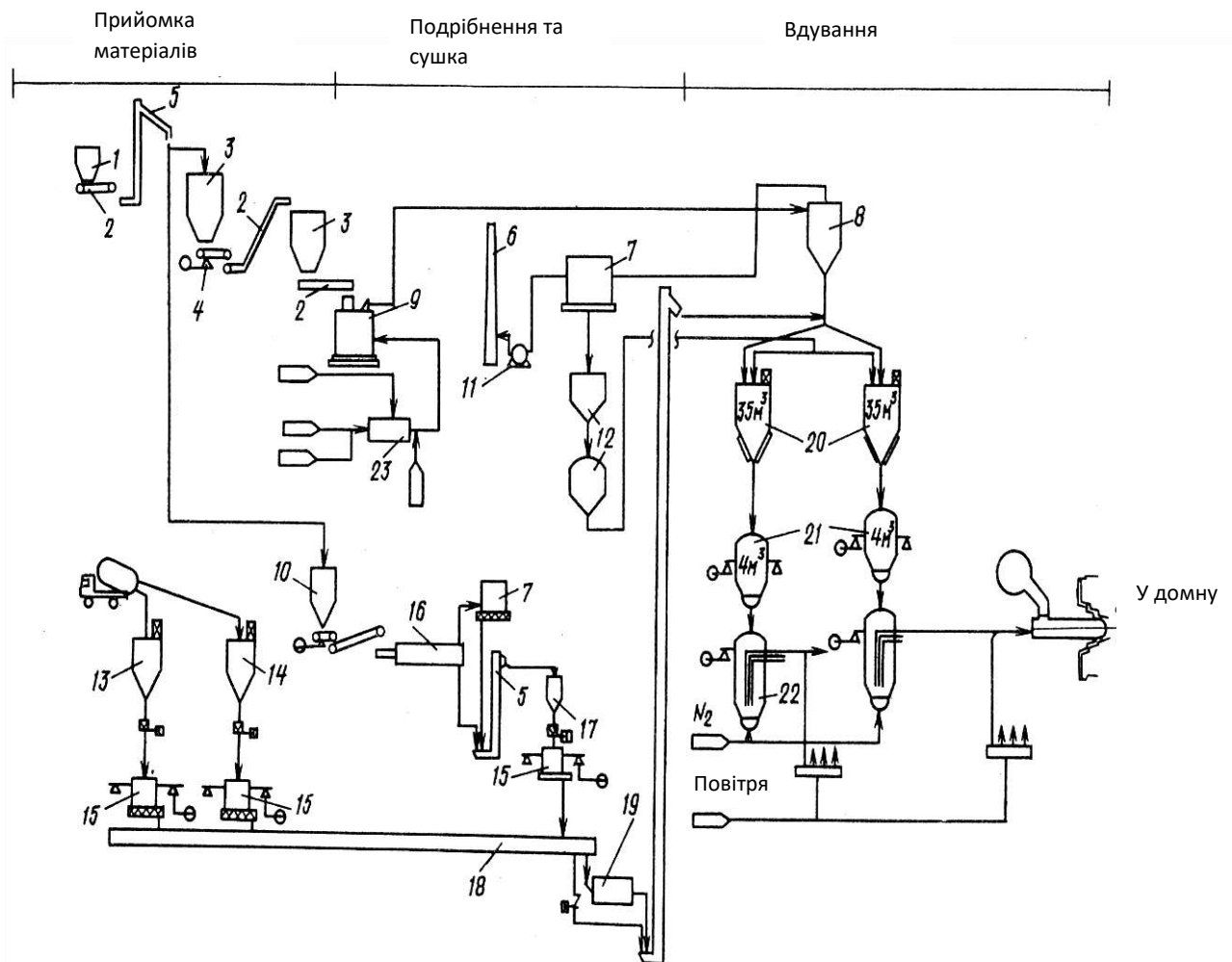


Рис. 1.12. Технологічна схема багатоцільової системи вдування на доменній печі №5 заводу в Тібе

1 - прийомний бункер; 2 - живильник; 3 - бункер вугілля; 4 - стрічковий конвеєр; 5 - ковшевий елеватор; 6 - витяжна труба; 7 - фільтр; 8 - циклон; 9 - млин; 10 - бункер для залізорудного порошкоподібного дріб'язку; 11; 12; 13 - бункер конвертерного пилу; 14 - бункер для порошкоподібного вуглекислого кальцію; 15 - ваги; 16; 17 - бункер для сухих порошкоподібних

матеріалів; 18 - конвейер; 19 - машина; 20 і 21 - бункера; 20 - здрібнених матеріалів; 21 - проміжковий бункер; 22 - видатковий бункер ємністю 4 м³;

23 - нагрівач інертного газу

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [15]

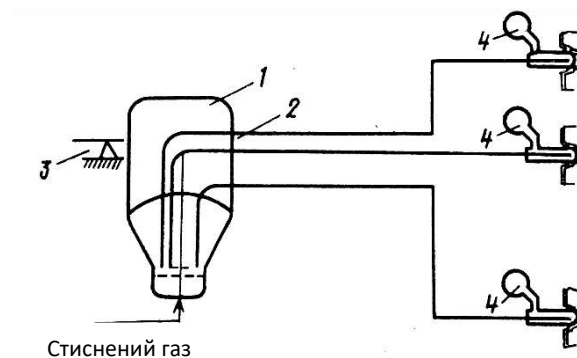


Рис. 1.13. Принципова схема вдування пиловугільного палива

1 - видатковий бункер; 2 - видаткові трубопроводи; 3 - пристрій, що зважує; 4 – фурми

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [15]

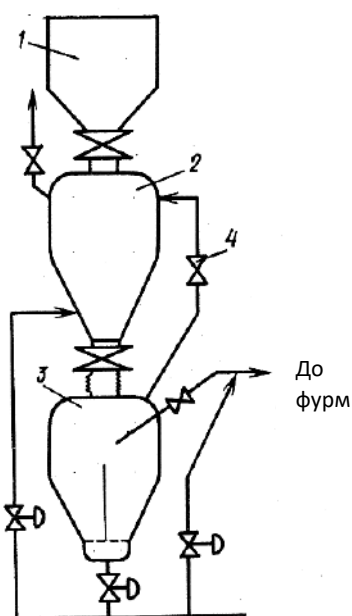


Рис. 1.14. Система вдування пиловугільного палива з послідовним розташуванням проміжного й видаткового бункерів

1-3 - бункери: 1 - зберігання, 2 - проміжний, 3 - видатковий; 4 - система вирівнювання тиску

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [15]

Система вдування включає приймання вугілля, його подрібнювання, сушіння, а також подачу пиловугільного палива на фурми доменної печі. Принципова схема системи вдування пиловугільного палива зображена на рис. 1.13. Пиловугільне паливо подається з видаткового бункера, що перебуває у якому підвищений тиск, у кілька підводящих видаткових ліній, по яких далі надходить до фурмених приборів. Витрата палива регулюється зміною тиску в цьому резервуарі й зміною витрати газу - носія. На кожному трубопроводі, використовується витратомір, що гарантує досягнення точної витрати пиловугільного палива. Для забезпечення безперервної подачі пиловугільного палива в доменну піч застосовується схема розташування бункерів, зображена на рис. 1.14. Проміжний і видатковий бункери розміщені послідовно.

Подача порошкоподібних матеріалів з бункера зберігання у видатковий відбувається в умовах постійної зміни тиску в промбункері, яке відповідає за необхідністю або тиску бункера зберігання, повідомленого з атмосферою, або тиску видаткового бункера. Засвоєння технології вдування пиловугільного палива на доменній печі №5 відбувалося у декілька етапів. На першому етапі основне завдання полягало в зміцненні надійності встаткування й стабілізації процесу вдування. Спочатку піч працювала в режимі дуття з низькою температурою (950 °С) з використанням тепла від згоряння пиловугільного палива без зміни рудного частини. Після результативності високої надійності роботи встаткування температура гарячого дуття була підвищена до 1050 °С при збільшенні рудного навантаження. Витрата пиловугільного палива становила 26 кг/т чавуну (середньодобове значення). На другому етапі з 1985 р. витрата пиловугільного палива зросла до 36 кг/т чавуну при зниженні

витрати коксу. Характеристика використаних типів вугілля наведена в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10

Склад пиловугільного палива, %

Вугілля	Вологість	Зола	Летючі	Сірка (заг.)	Вуглець (зв'язаний)
А	6,6	9,8	34,3	0,59	55,9
В	8,1	8,0	36,8	0,62	52,7
С	7,5	7,5	34,7	0,60	57,8

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [15]

У таблиці 1.11 наведені деякі показники роботи доменної печі №5 із вдуванням пиловугільного палива й тільки на коксі.

Таблиця 1.11

Техніко-економічні показники роботи доменної печі №5

Показники	Режим роботи доменної печі			
	Тільки на коксі (квітень - грудень 1984 р.)	При вдуванні пиловугільного палива (січень-березень 1985 р.)		
		Вугілля А	Вугілля В	Вугілля С
Витрата, кг/т чавуну:				
Коксу	524,9	481,4	480,4	482,0
Пиловугільного палива	-	34,1	29,5	29,1
Палива	524,9	515,5	509,9	511,1

Продовження таблиці 1.11

Частка агломерату в шихті, %	78,6	74,7	76,8	75,9
Вихід шлаків, кг/т чавуну	320	303	310	309
Зола коксу, %	11,2	11,2	11,4	11,5
Вологість дуття, г/м ³	38,5	30,0	39,8	39,6
Температура дуття, °С	1026	987	1016	1080
Скоректований коефіцієнт заміни коксу вугіллям, кг/кг	-	0,82	0,92	0,95

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [15]

1.3 Вугільна база забезпечення промислового впровадження ПВВ-технології

Теоретичні дослідження та масовий промисловий досвід показують, що зольність та сірчаність вугілля для виготовлення пиловугільного палива повинна бути нижча, ніж у застосовуваному на підприємствах коксі. По мірі зниження значень показників ефективності коксу впровадження ПВВ-технології поступово зростає.

У 1983 році за дорученням Міністерства чорної металургії Українським державним науково-дослідним вуглехімічним інститутом було виконано роботу з розрахунку очікуваної потреби у вугіллі для ПВП та відповідно до цього підбір реальної вугільної сировинної бази на основі чинного шахтного фонду і збагачувальних потужностей України. У розглянутій програмі ця технологія планувалася до впровадження на всіх металургійних заводах у дві стадії: 1984...1986 рр. - на ВАТ «Донецький металургійний завод» (Україна) (ДП 1 і 2, 120 тис. т/рік), ВАТ «Алчевський металургійний комбінат» (Україна) (ДП 3-4-5, 250 тис. т/рік) і ВАТ «Металургійний комбінат "Азовсталь"»

(Маріуполь, Україна) (ДП 4-5-6, 255 тис. т/рік); 1986 ... 1990 рр.. - вага решта. При цьому, загальний обсяг ПВП становив 4,2 млн. т на рік, а кількість вугілля для його приготування - 4,77 млн. т на рік.[4]

На жаль, із запланованого широкого впровадження технології вдування ПВП на підприємствах України була побудована тільки одна установка на ДП №2 ВАТ «Донецький металургійний завод» з досягнутим об'ємом вдування 170- 180 кг. На період 2007- 2008 роках. очікувалось впровадження цієї технології на 5 металургійних підприємствах України із загальною річною потребою у вугіллі для приготування ПВП - 7,5 млн. тон, у тому числі: ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча» - 2,0 млн. тон. Ілліча» - 2,0 млн. тон; ВАТ «Алчевський металургійний комбінат» - 2,0 млн. тон; ВАТ «Єнакіївський металургійний завод» - 1,2 млн. тон; ВАТ «Металургійний комбінат "Запоріжсталь» - 2,0 млн. тон; ЗАТ «Донецьксталь» - металургійний завод» - 0,3 млн. т. З наведених даних видно, що потреба тільки п'яти заводів перевищує раніше заплановану для всіх підприємств України в 1,6 рази, що свідчить про досить позитивне ставлення практиків доменного виробництва до цього процесу. Для використання як сировинної бази ПВП у світовій практиці використовують так зване «м'яке» (послаблене і неспікливе вугілля). Відповідно до ДСТУ 3472-96 «Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація» до такого вугілля можна віднести марки ДГ, Г і Т. У принципі, для приготування ПВП могли б використовуватися й антрацити, але, з огляду на їхні вельми високі параметри міцності та абразивної твердості, слід очікувати інтенсивного зносу всього технологічного контуру підготовки та подачі ПВП у ДП. Виходячи з викладеного, як потенційні ресурси, розглянуто як запаси, так і реально видобувні ресурси українського вугілля марок ДГ, Г і Т.

Ресурси українського малосірчастого вугілля для технології виробництва ПВП вельми обмежені як нині, так і в перспективі. Ця обставина робить необхідним опрацювання питання можливості імпортування малосірчастого, насамперед, пісного вугілля.

Аналізуючи дані, слід констатувати, що запаси малометаморфізованого вугілля марок ДГ і Г становлять: за категоріями А+В (запаси, що розробляються та підготовлені до розроблення) 5,04 млрд. тон; А+В+С (додалися запаси детальної розвідки) - 14,9 млрд. т.; С2 (попередньо розвідані запаси) - 4,7 млрд. т. Запаси пісного вугілля за категоріями А+В+С, становлять 2,7 млрд. тон і з урахуванням категорії С2 можуть збільшитися до 3,3 млрд. тон. Наведені тут же дані з видобутку вугілля цих марок у 2005 році свідчать, що загалом видобуто вугілля марок ДГ і Г 26,9 млн. т. із середнім вмістом сірки 2,06%. При цьому, ресурси менш сірчастого газового вугілля, що використовується в сировинній базі коксування, становлять 8,1 млн. т. із середнім вмістом сірки 1,7%. Пісне вугілля видобуто в обсязі 5,7 млн. т. з високим середнім вмістом сірки. Розглянуті ресурси українського вугілля марок ДГ, Г і Т вказують на високий вміст у ньому сірки, що потребує детальнішого вивчення можливих постачальників цього вугілля.

Аналіз очікуваного видобутку малосірчастого вугілля цих марок у 2007 р. показує, що з вмістом сірки до 1% буде видобуто 1490 тис. тон газового і 100 тис. т. пісного вугілля; до 1,5% вмісту сірки ресурси вугілля становитимуть: марки ДГ - 4 млн. тон; Г - 2,96 млн. тон; Т - 200 тис. тон. Представлені дані свідчать про нечисленні ресурси вугілля із вмістом сірки до 1,0% і не набагато більше - до 1,5%. При цьому, ресурси пісного вугілля до 1,5%, які становлять лише 300 тис. т., після їхнього збагачення до зольності 10% зменшуватимуться вдвічі. Усі інші ресурси вугілля цієї марки мають вміст сірки 2,5...3,0%, що виключає можливість їх використання для технології приготування ПВП. Вимоги технології використання ПВП у частині того, що вміст сірки у вугіллі, що вдувається, не повинен перевищувати його вміст у коксі, що використовується, зробило за необхідне провести аналіз складів шихт і якості коксу за 2005 і 2006 (9 місяців) роки. Розглянуто дані про співвідношення українського та імпортного вугілля в шихтах окремих заводів, а також якісні характеристики шихт і коксу за показниками зольності та вмісту сірки. З розглянутих даних видно, що в шихтах коксохімічних заводів України

за останні роки частка малосірчастого імпортного вугілля (здебільшого російського) сягнула за окремими заводами 72% за середньої величини у всій сировинній базі 27- 30%. Ця обставина призвела до того, що вміст сірки в доменному коксі окремих заводів з високою частковою участю в шихті імпортного вугілля знизився до рівня менше 1%. При цьому середній вміст сірки в товарному і металургійному коксі українських заводів знизився з 1,60...1,70% до 1,29% (2005 р.)-1,17% (9 місяців 2006 р.). Виходячи з такого рівня вмісту сірки в коксі, стає важко здійсненою вимога, що обмежує відповідний вміст сірки в ПВП [17]. Особливо це слід віднести до пісного вугілля, яке найбільш затребуване для використання в доменній технології.

Використання малометаморфізованого вугілля (марки ДГ і Г) у даній технології замість пісного вимагає оснащення технологічної схеми вибухонебезпечним обладнанням, що збільшує вартість процесу приготування ПВП. Таким чином, слід констатувати, що ресурси малосірчастого українського вугілля, як сировини для технології одержання ПВП, вельми обмежені та в перерахунку на зольність 10% можуть становити по марці Г - до 800 тис. т. і марці Т - 60 тис. т. на рік. Виходячи з цього, і з огляду на потребу у вугіллі для ПВП уже в 2008 році в кількості 7,5 млн. т., можна зробити висновок про необхідність залучення для цих цілей імпортного, насамперед російського, вугілля.

1.4 Ресурси вугілля для виготовлення пиловугільного палива

У 2004 році у світі для виробництва пиловугільного палива (ПВП) для доменних печей використано близько 50 млн тон вугілля, як правило, таких марок: Г, А, Т.

Теоретичні розрахунки і світовий досвід показують, що для виробництва ПВП найефективніше використовувати вугілля з низьким вмістом золи і сірки. Зазвичай рівень цих показників має бути нижчим за вміст золи і сірки у коксі, що використовується на підприємстві.

Вміст летких у ПВП може змінюватися в широких межах і визначається насамперед кон'юнктурою цін та ефективністю застосування вугілля в конкретних технологічних умовах.

Для приготування ПВП доцільно використовувати вугілля та їх концентрати, які непридатні (малоприсадні) для виробництва коксу.

На підставі вітчизняного та зарубіжного досвіду для приготування ПВП рекомендується вугілля та його концентрати з такими характеристиками: вміст золи і сірки - відповідно до 10...12% і 1.5...2,0%; вологість - до 10...12%; крупність - до 50...80 мм.[18]

Відповідно до вищевказаних вимог та чинного стандарту ДСТУ 3472-96 в умовах України для приготування ПВП може бути використане вугілля та його концентрати наступних марок: Т, А, Г і меншою мірою - Д, ДГ. Найбільш придатними є вугілля та їхні концентрати марок Т, А і Г (остання при дотриманні додаткових заходів у процесі підготовки та використання ПВП).

Загалом запаси вугілля в Україні, в т.ч. придатного для приготування ПВП, оцінюються в 3,6...4,8 млрд. т (у т.ч. по Донбасу запаси вугілля марки Т оцінюються в 0,46 млрд. т), що вказує на реальну можливість розширення видобутку необхідних марок вугілля.

Можна вважати, що на початковому етапі широкого застосування ПВП у доменному виробництві України реальними матеріалами для приготування ПВП будуть концентрати (збагачене вугілля) марок А, АШШ, АС, АО, Т, ТС, Г, а також Д і ДГ. Зазначене вугілля (концентрати) можна використовувати для приготування ПВП як єдиний шихтовий компонент, так і у вигляді суміші з 2-х або 3-х вугілля, що також має технологічні переваги і широко використовується у світовій практиці.

Таким чином, очевидно, що пиловугільні комплекси підприємств України мають бути універсальними, тобто здатними працювати на різних марках концентратів (вугілля), зважаючи на кон'юнктуру, яка склалася на цей момент, та економічну доцільність.

Наприклад, у 2004 р. загалом по Україні було вироблено вугільні концентрати (продукти збагачення вугілля) в такій кількості: марок АК, АТ, АМ, АС (із вмістом золи від 4,2 до 10,7% та сірки до 1,8% - усі енергетичні) - 3,02 млн. т; марки Г (із вмістом золи 7,8% та сірки 1,8% - усе для виробництва коксу) - 3,8 млн. т; марки Т (придатного для виготовлення ПВП) - практично не виробляли. Основними постачальниками концентратів марок антрациту є вугільні підприємства Луганської області України: ЦЗФ «Міусинська», ГЗФ «Известия», ГЗФ «Ровеньківська», ГЗФ «Вахрушівська», ЦЗФ «Комендантська», ГЗФ «Свердловська», ГЗФ «Червонопартизанська» та ін.

Основними постачальниками концентратів марки Г є вугільні підприємства Донецької області України: ВФ «Піонер», ЦЗФ «Добропільська», ЦЗФ «Жовтнева»; у Луганській області: ЦЗФ «Білоріченська» тощо. Аналіз показує, що поступове збільшення обсягу застосування ПВП у доменному виробництві України зрештою зумовить зміну балансу вироблюваних вугільних концентратів, складу шихт для коксування і, що особливо важливо, зменшить обсяг виробництва коксу та забезпечить можливість поліпшення його якості. [17]

Відомо, що витрати вугілля на виробництво 1 т коксу і 1 т ПВП дорівнюють, відповідно, 1,3 і 1,1 т/т, а коефіцієнт заміни коксу ПВП - 0,8...0,9. При впровадженні ПВП-технології на обсяг виплавки чавуну близько 24 млн т/рік (приблизно 80% від досягнутого рівня виплавки чавуну в Україні) та питомій витраті ПВП 150 кг/т чавуну знадобиться 3,6 млн т на рік ПВП; у цьому разі буде зменшено витрату коксу на виплавку чавуну сумарно на 3,06 млн т/рік.

Виходячи з фактичної частки марок вугілля в коксових шихтах коксохімічних підприємств України та зазначеного коефіцієнта 1,3, дане зменшення витрат коксу дасть змогу одержати економію витрат основних марок вугілля в такій кількості, тис. т/рік: Г - 891,0; ПК - 362,0; Ж - 1133,7; К - 914,9; ОС - 218,8.

Таким чином, з коксохімічного виробництва для приготування ПВП вільно може бути передано щонайменше 891 тис. т/рік вугільного концентрату марки Г, що від загального обсягу необхідного концентрату для отримання ПВП становить 22.5%. Крім того, технологічно ефективні марки вугілля для отримання коксу (Ж і К) можуть «витіснити» з вугільних шихт менш цінні марки вугілля загальною масою до $1133,7+914,9=2048,6$ тис. т/рік, придатних для отримання ПВП. Отже, масштабна організація виробництва ПВП може бути здійснена приблизно на 75% на наявних концентратах у коксохімічному виробництві України, тобто без значних капітальних вкладень у підготовку цих концентратів. Водночас впровадження ПВП-технології в повному обсязі (на 24 млн. т чавуну/рік) потребуватиме організації додаткового виробництва вугілля (концентратів) марок А і Т в обсязі близько 1,0 млн. т/рік (а отже, й відповідних капітальних вкладень).

Розрахунок показує, що резерв вугілля марок Ж і К, який з'являється, в обсязі 2048,6 тис. т/рік і зменшення потреби коксу на 3,06 млн т/рік дасть змогу збільшити частку цього вугілля від $28,5+23,0=51,5\%$ до 60,3%, тобто на 8,8%. Це забезпечить істотне поліпшення якості коксу. На зарубіжних підприємствах значне застосування газового вугілля для приготування ПВП, мабуть, покращувало склад шихт для коксування і, відповідно, якості коксу.

Виходячи з вищевказаного можемо зробити наступні висновки. В умовах підприємств України комплекси для приготування ПВП мають бути універсальними, тобто здатними працювати на різних марках вугілля (концентратів), зокрема, на початковому етапі освоєння цієї технології вони повинні забезпечувати роботу за значних витрат газового вугілля (у кількості не менш як 25% від загальної його витрати) [18]. Масштабна організація виробництва ПВП може бути здійснена приблизно на 75% на наявних концентратах у коксохімічному виробництві, тобто без значних капітальних вкладень у підготовку цих концентратів.

Впровадження ПВП-технології в повному обсязі потребуватиме організації додаткового виробництва вугілля (концентратів) марок А і Т в

обсязі близько 1,0 млн. т/рік. Освоєння ПВП-технології в повному обсязі на підприємствах України дасть змогу помітно поліпшити склад вугільних шихт для коксування завдяки збільшенню в них частки вугілля марок Ж і К від 51,5% до 60,3%, і, як наслідок, поліпшити якість доменного коксу.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

Одним з ефективних методів зменшення споживання коксу є вдування пиловугільного палива. Найбільш важливими проблемами, що виникають при використанні цього методу, є знижена проникність незгорілого вугілля та високий вміст золи.

Вважається, що протягом наступних двох десятиліть більшість чавуну буде вироблятися в доменних печах. Це пов'язано з нестачею брухту та зростанням цін на електроенергію та газ, яких потребують електropечі. Один з основних компонентів шихти в доменній печі є металургійний кокс. Як правило, на виробництво коксу витрачається близько 30% собівартості чавуну. У зв'язку з необхідністю зменшення витрат на виробництво чавуну та контролю за забрудненням, а також через дефіцит коксівного вугілля, виробники намагаються використовувати інші джерела палива замість коксу. На сьогоднішній день пропонується близько сорока видів палива, як заміника коксу, але дослідження показують, що одним з найбільш придатних видів палива є пиловугільне паливо.

Вперше вдування пиловугільного палива (ПВП) було застосовано в 1850 році на двох французьких і бельгійських заводах. Використання ПВП поступово зростає, оскільки сьогодні вдування ПВП є найбільш традиційним методом зменшення споживання коксу в доменних печах. Нещодавні дослідження показали, що кількість вдування ПВП на одну тонну чавуну може бути збільшена до 250 кг.

Збільшення швидкості вдування ПВП може призвести до великої кількості незгорілого вугілля або збільшеного вмісту золи у рідких продуктах плавки. Це відбувається через порушення дифузії газу у стовпі шихтових матеріалів, що в свою чергу призводить до зниження продуктивності доменної печі. Під час вдування ПВП, напівзгоріле вугілля заповнює пори пласту шихтових матеріалів, що може призвести до зниження газопроникності у стовпі шихтових матеріалів і таким чином порушиться технологія доменного

виробництва. Через це деякі підприємства використовують кокс з високим вмістом летких речовин.

2.1 Вибір марки вугілля

Основною метою дослідження відображеного нижче, є оцінка чотирьох видів вугілля за допомогою попереднього та кінцевого аналізу, та експериментів зі спалювання вугілля для вдування в доменну піч.

Для проведення дослідження було відібрано чотири види вугілля: сахарське, сангрудське, кармоздське та табаське. Виконувалась промивка вугілля тричі по 15 хвилин. Промивання виконували гасом та водою, далі висушували при температурі 150⁰С протягом однієї години. Після цього вугілля подрібнювали у шаровому млині та просіювали до фракції 57-125 мкм. Дослідження проводилось згідно стандарту ASTM -D586 в трубчастій печі. Вологість та вихід летких речовин виконувались згідно стандарту ASTM-D3173 та ASTM- D3175 при температурах 110⁰С та 870⁰С. Відповідно до стандарту ASTM-D3174, 1 грам висушеного вугілля нагрівали при 850⁰С на повітрі протягом двох годин [16]. Маса, що залишилась після спалювання вугілля вказує зольність вугілля. Відсоток нелеткого вуглецю розраховували шляхом віднімання виходу летких речовин, вологи та золи від загальної маси. Відсотковий вміст мінералів розраховували на основі рівняння Пар.

$$M=1,08A+0,55S \quad (2.1)$$

де М- вміст мінералів у вугіллі

А- кількість золи у вугіллі

S- кількість сірки у вугіллі

Для визначення сорту вугілля за виходом летких речовин та індексу твердості (HGI) використовувалися класифікації Лорда та Перча- Рассела.

Остаточний аналіз вугілля був зроблений за допомогою EDX-аналізу, встановленого на скануючий електронний мікроскоп Cambridge S360. Відсотковий вміст вуглецю вимірювався за допомогою тесту Рок-Евала. Вміст сірки вимірювали відповідно до стандарту BS-1016 за допомогою приладу LECO.

Для розрахунку коефіцієнту відбиття вітриніту з відполірованих і протертих поверхонь вугілля було відібрано 250-500 точок за допомогою мікроскопа LUCIA. Потім відповідно до стандарту ISO 7 404/5-1984 та вказівок Міжнародного комітету з вугілля та органічної петрології, було отримано коефіцієнт відбиття кожної точки, а потім визначено середній максимальний коефіцієнт відбиття вітриніту. Ранг вугілля та відсотковий вміст вуглецю розраховувався відповідно до вищезгаданого індексу та стандарту ASTM D388.

Також було проведено випробування на ударну в'язкість та горіння, тест Рока-Евала використовувався для розрахунку ТОС (Total Organic Carbon), T_{\max} (максимальна температура при якій вугілля виділяє вуглець) та виходу вуглецю. Дослідження проводилось шляхом піролізу в діапазоні температур 300- 600⁰С в атмосфері гелію. Вміст вуглецю та кисню в газі аналізували методом хроматографії. Для аналізу використовувався хроматограф Rock-Eval 3 з модулем ТОС французької фірми Vinci [16].

Для оцінки реакційної здатності вугілля з CO₂, 1 грам вугільного порошку нагріли до 1050⁰С, швидкість нагрівання склала 10⁰С/хв в трубчастій печі при використанні азоту (N₂). Втрату маси в зразках вимірювали за певного часу за допомогою високоточних ваг. При досягненні температури в трубчастій печі 1050⁰С вприскувався CO₂ зі швидкістю 600 мл/хв, замість N₂ і також вимірювалася втрата маси в цьому стані.

Проведені дослідження показали, що всі чотири марки вугілля мають стійкі показники, а також не перевищують показників прийнятного діапазону. У таблиці 2.1 наведені експрес-аналізи, а також прийнятні діапазони вдування для чотирьох марок вугілля: Сарахи, Сангурд, Кармозд, Табас. Вологість

кармоздозського вугілля дещо вища за прийнятний діапазон. В цілому вологість вугілля можна не брати до уваги, так як перед вдуванням у доменну піч воно проходить обов'язковий процес сушіння.

Таблиця 2.1

Аналіз вугілля та прийнятні діапазони для вдування

Вугілля	Волога, %	Вихід летких речовин, %	Зола, %	Вміст нелеткого вуглецю, %	Мінерали
Сарахи	10	29	10	51	11,6
Сангруд	8	26	11	55	12,4
Кармозд	11	34	10	45	11,3
Табас	9	23	11	57	12,9
Прийнятний діапазон	<10	10-40	<10	48-85	<11,6

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [16]

Зольність вугілля Сангруд і Табас дещо вища за прийнятний діапазон. Це пов'язано з методом промивання вугілля. Кількість золи можна оптимізувати шляхом модифікації методу промивання[16].

Вихід летких речовин у кармоздозському вугіллі вищий, ніж у інших. Вугілля з високим виходом летких речовин придатне для вдування в доменну піч. Виділення летких речовин призводить до збільшення площі контакту вугільного порошку з атмосферою у печі. Таким чином вугілля згорає за короткий час.

Вміст вуглецю у всіх видах вугілля знаходиться в межах допустимого діапазону. Вугілля з більш вищим вмістом вуглецю має хороший потенціал для вдування в доменну піч. Таким чином, проаналізувавши цю таблицю найбільш придатним для вдування в доменну піч, є вугілля Табас.

Вміст мінералів у всіх видах вугілля знаходиться на верхній межі допустимих норм, це пов'язано з високим вмістом золи та сірки в цьому вугіллі. Виходячи з цих показників вугіллям придатним до вдування у доменну піч є Кармоздське та Табас.

Аналізуючи вміст золи у таблиці 2.2 представлений зольний аналіз вугілля, було отримані наступні спостереження, кількість SiO_2 та Al_2O_3 (кислотних оксидів) по відношенню до Ca (основного оксиду є високою, що вказує на те, що вугілля придатне до вдування. Вугілля Кармозд має найбільше співвідношення кислотних оксидів до основних, і таким чином є найбільш придатним для вдування.

Таблиця 2.2

Хімічний склад золи вугілля

Вугілля	SiO_2 , %	Al_2O_3 , %	Fe_2O_3 , %	CaO, %	K_2O , %	ZnO, %	Cu_2O , %	TiO_2 , %	P_2O_5 , %	$\text{S}_{\text{орг}}$, %
Сарахи	47,0	25,2	4,5	11,3	0,9	2,1	1,9	1,6	0,2	5,3
Сангруд	35,6	24,6	8,5	7,1	2,6	5,4	8,1	2,1	0,2	5,8
Кармозд	45,1	24,8	12,9	2,9	3,2	2,5	1,8	2,5	0,1	4,2
Табас	40,5	22,7	7,8	12	2,1	3,8	3,8	1,8	0,1	5,4

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [16]

Більш високий вміст SiO_2 в золі вугілля Сарахи і Кармозд призводить до зниження індексу твердого помелу (HGI) вугілля, що обмежує їх використання. Вміст P_2O_5 та інших основних оксидів знаходиться в межах допустимого діапазону для вдування в доменну піч. Вміст сірки та золи у вугіллях Сангруд та Табас вищий ніж в інших. На рисунку 2.1 зображено розподілення піриту до та після спалювання вугілля Табас.

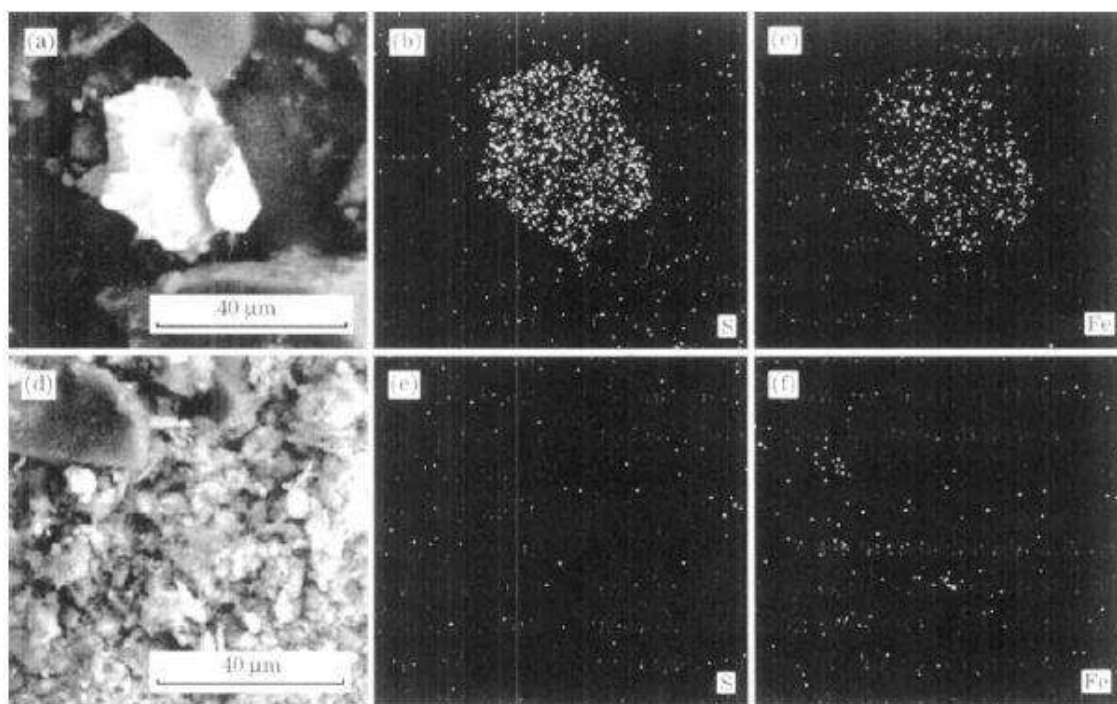


Рис. 2.1. Аналіз EDX до та після спалювання вугілля Табас

a, b, c- до спалювання, d, e, f- після спалювання

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [16]

У таблиці 2.3 наведено кінцевий аналіз всіх видів вугілля з неї видно, що вміст сірководню в вугіллях Табаса та Сарах перевищує 1% (прийнятна верхня межа для вдування в доменну піч). Ця проблема може бути вирішена шляхом модифікації методу промивання вугілля. Слід відзначити, що кількість сірки може бути знижена шляхом зменшення зольності вугілля.

Таблиця 2.3

Загальний аналіз вугілля

Вугілля	Вміст, %					
	S	H	C _{загальн.}	A	H ₂ O	HGI
Сарахи	<1.5	4,0	66,4	10	10	92
Сангруд	<1	4,0	73,5	11	8	105
Кармозд	<1	4,3	70,1	10	11	88
Табас	<2	3,2	72,2	11	9	112

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [16]

Загальний вміст вуглецю був отриманий з тесту Rock- Eval (Рок- Еваля).

Відмічено, що все вугілля є бітумінозним. Клас вугілля Табас вище ніж у інших представників.

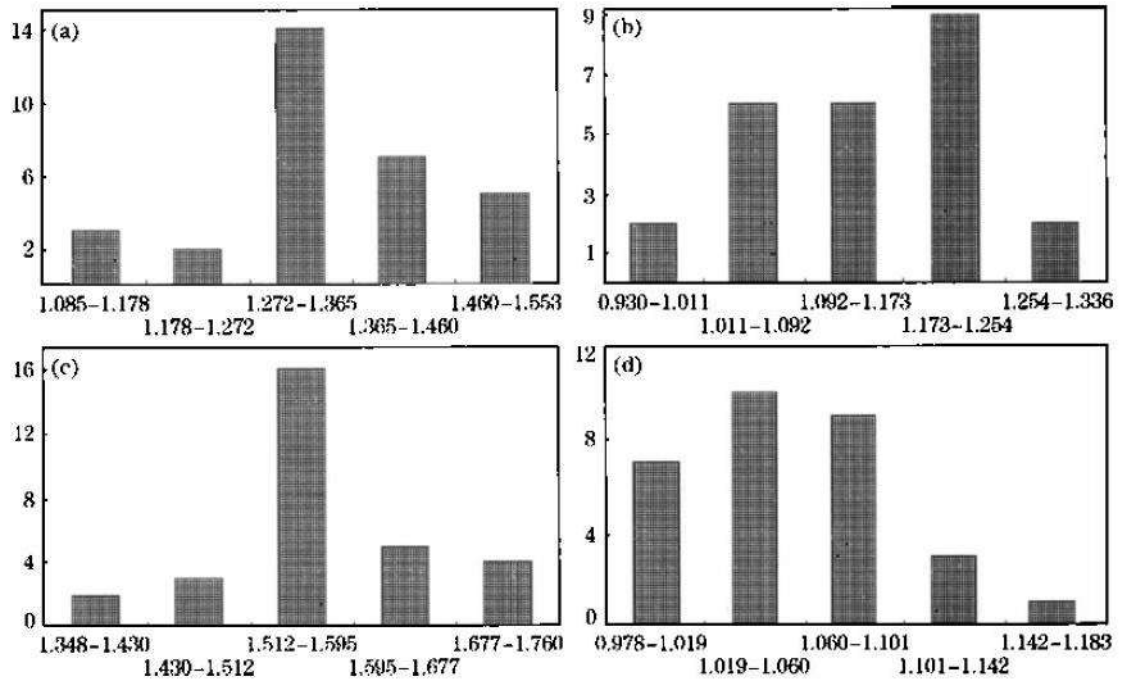


Рис. 2.2 Середній максимальний показник відбиття вітриніту

a- вугілля сангруд b- вугілля сарах c- вугілля табас, d- вугілля кармозд

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [17]

Таблиця 2.4

Середній коефіцієнт відбиття вітриніту та класифікація вугілля

Вугілля	R_{max}	Ступінь вуглефікації (марка)	C_{daf}
Сарахи	1,17	Бітумна з помірним виходом летких речовин	86
Сангруд	1,3	Бітумна з помірним виходом летких речовин	88
Кармозд	1,02	Бітумна з високим виходом летких речовин (тип А)	83
Табас	1,55	Бітумна з низьким виходом летких речовин	90

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [16]

Результати визначення показника відбиття вітриніту (R_{\max}) показано на рисунку 2.2 та в таблиці 2.4. За цими параметрами можна отримати загальний вміст вуглецю на сухий беззолний стан вугілля (C^{daf}).

Результати тестування Rock- Eval (Рокеваля) відображені у таблиці 2.5. Вихід вуглеводів на 1 г вугілля (S_2) вказує на кількість утворених вуглеводнів в діапазоні температур 300-600⁰С. Найбільший вихід вуглеводів має Кармозд. Як правило, високий клас вугілля призводить до низького виходу вуглеводів.

Таблиця 2.5

Результати випробувань за тестом Рокеваля

Вугілля	S_2 , мг	T_{\max} , ⁰ С	Загальний вміст вуглецю, %
Сарахи	134,5	459	66,4
Сангруд	91,1	469	73,5
Кармозд	164,2	437	70,1
Табас	97,3	474	72,2

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [16]

Таблиця 2.5 також демонструє зниження максимальної температури горіння (T_{\max}) із зменшенням класу вугілля. Порівнявши таблицю 2.4 з таблицею 2.5, чітко показує, що вугілля з низьким показником відбиття вітриніту (R_{\max}), також має зниження максимальної температури горіння (T_{\max}). Наприклад, вугілля кармозд з низьким рейтингом демонструє найнижчу максимальну температуру (T_{\max}). Вугілля з нижчими показниками максимальної температури горіння придатні для вдування в доменну піч. Таким чином, вугілля кармозд є найкращим з цієї точки зору.

Загальний вміст вуглецю у вугіллі також відображений у таблиці 2.5. Однією з головних ролей вугілля в доменній печі є виробництво газу CO. Вугілля з високим вмістом вуглецю може генерувати більшу кількість CO в

доменній печі. З цієї точки зору, хоча різниця між чотирма видами вугілля невелика, вугілля сангруд є найбільш придатним для вдування.

Далі треба звернути увагу на результати горіння вугілля. На рисунку 2.3 зображено результати випробувань з горіння вугілля.

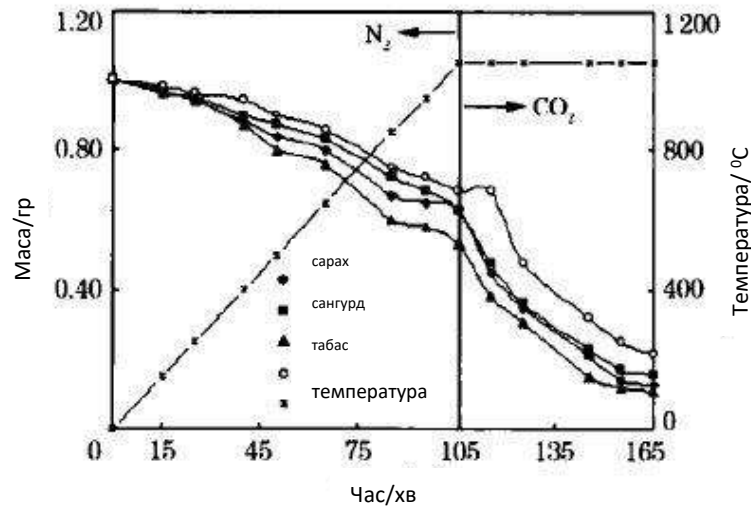


Рис. 2.3. Результати випробувань вугілля на горіння

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [19]

Протягом перших 105 хвилин експеримент проводився в атмосфері інертного газу азоту (N_2). Тому на графіку можна спостерігати лише емісію летких речовин і вологість вугілля. Отже вугілля Кармозд має найвищий вміст вологи та летких речовин. Це узгоджується з результатами таблиці 2.3. Після цього атмосфера в печі змінюється на вуглекислий газ (CO_2). В цій ситуації вуглець (C) та вуглекислий газ (CO_2) генерують газ CO при температурі $1050^{\circ}C$.

З рисунку 2.3 видно, що швидкість втрати маси вугілля Кармозд вища, ніж у інших. Це пояснюється вищою маркою вугілля та більшим виходом вуглеводів, що призводить до більшої втрати маси у цьому вугіллі. Найнижчий показник вигорання має вугілля Табас.

Іншим важливим параметром є індекс заміщення коксу (співвідношення вугілля/кокс). Вугілля з високим індексом заміщення коксу може бути використане для заміщення коксу і придатне для вдування в доменну піч.

Кількість фіксованого вуглецю відіграє важливу роль у цьому питанні. Вугілля з високим вмістом вуглецю може замінити кокс, що міститься в доменній шихті. Відповідно вугілля Кармозд має найнижчий індекс заміщення.

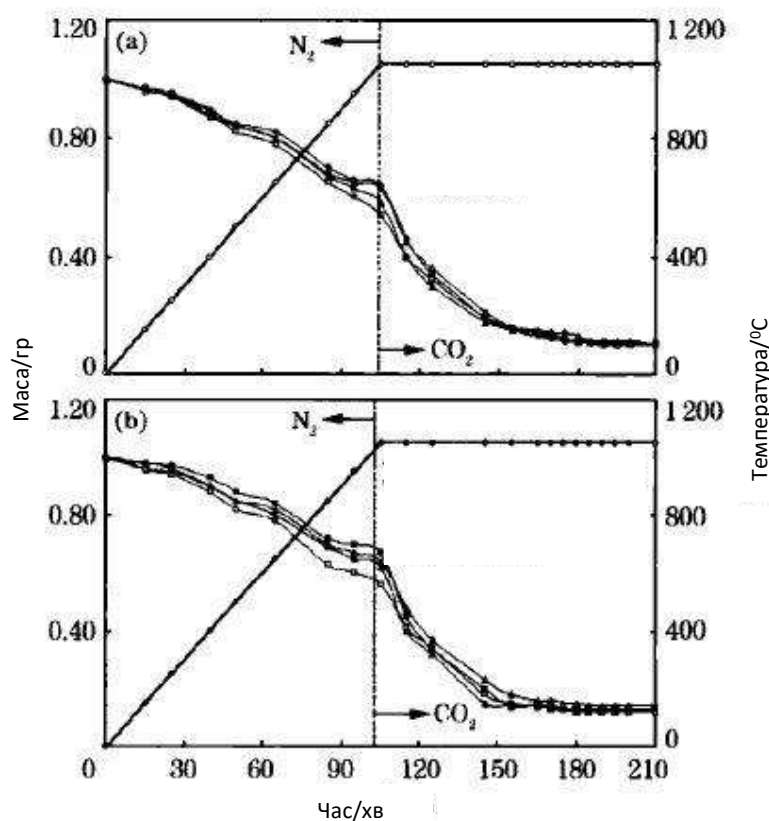


Рис. 2.4. Результати вогневих випробувань вугільних сумішей

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [19]

Результати зі спалювання вугільних сумішей наведені на рисунку 2.4. Порівняно з кривими на рисунку 2.3, криві є близькими одна до одної, особливо в атмосфері азоту. Так, величина зменшення маси в усіх дослідках після 165 годин є приблизно однаковою.

З рисунку 2.4 видно, що зменшення маси сумішей на 50% вугілля сарах+50% вугілля сангурд та 50% вугілля сарах +50% вугілля табас в атмосфері інертного газу азоту (N_2) є меншим ніж, у інших. Через 105 хвилин, швидкість згоряння цих двох сумішей в атмосфері вуглекислого газу (CO_2), вища ніж у інших. Видно, що через 120 хвилин зменшення маси в цих двох сумішах

досягає максимальних показників. Зроблено висновок, що вихід продуктів згоряння в цих двох сумішах вищий, ніж в інших.

2.2 Структурний аналіз вугілля Табас

Табаське вугілля має сприятливі пластометричні властивості, що робить його придатним для використання в металургійній промисловості, як коксівне вугілля, а також як вугілля для приготування пилевугільного палива для доменних печей. Однак його високий вміст сірки, який становить близько 2%, створює значний ризик забруднення навколишнього середовища. Крім того, зменшення вмісту золи до рівня нижче 10% є критично важливим завданням.

Зразки вугілля з пластів Парваде 4 і Східний Парваде (PE) вугільних шахт Табас були підготовлені для проведення експериментів з біофлотації та біовилуговування. Експерименти були проведені на первинному вихідному зразку Східного Парваде (PE), первинному вихідному зразку чотирьохшарового C₁ (B₄C₁) і чотирьохшарового B₂ (B₄B₂), які були подрібнені до +180 мікрон і 350 мкм. Було проаналізовано кількість сірки (органічної, піритної та сульфатної) на основі аналізу за стандартом ASTM-D3177, а кількість золи- за стандартом ASTM- D3174, як показано в таблиці 2.6. Кількість сульфатної сірки в кожному зразку вугілля була незначною і тому не бралася до уваги. Перед проведенням експерименту із зразків вугілля були зроблені СЕМ-зображення рисунок 2.5 та зображення в поляризаційному мікроскопі рисунок 2.6, щоб отримати попереднє уявлення про форми піриту і вугільних мацералів та дослідити їх вплив на зменшення вмісту сірки та золи у вугіллі. Зображення зразків вугілля, отримані за допомогою мікроскопа в поляризованому світлі, відображені на рисунку 2.5. На основі СЕМ- зображень, показаних на рисунку 2.5, у зразку первинної сировини Східного Парвадеху (ССП) можна побачити значну кількість мінералу піриту, який накопичився і утворив маси на деяких ділянках.

Пірит супроводжується мінералами кальциту і доломіту в деяких частинах також змішаний з глинистим мінералом у зразку.

Крім того присутні деякі другорядні мінерали, такі як анкерит, піротин і галеніт.

Таблиця 2.6

Аналіз вмісту сірки та золи у зразках вугілля Табас

Зразки	Загальний вміст сірки, %	Піритна сірка, %	Органічна сірка, %	Зола, %
PE	1,85	1	0,85	11,8
V ₄ C ₁	2,1	1,51	0,59	15,65
V ₄ B ₂	2,07	1,17	0,9	25,9

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [19]

У зразку V₄C₁ спостерігається значна кількість вільного піриту, який місцями змішаний з глинистими мінералами. Включення піриту і кальциту також можна побачити в декількох частинах зразка, а також було виявлено деяку кількість оксиду заліза, в основному у вільній формі. У зразку V₄B₂ спостерігається значна кількість мінералу піриту, який накопичився і утворив маси на деяких ділянках. Пірит також змішаний з глинистими мінералами в деяких частинах і в зразку спостерігається участь піриту і кальциту, а також піриту і кварцу.

На основі зображень поляризаційного світлового мікроскопа рисунок 2.6 видно, що первинний зразок вугілля Східного Парвадеху (PE) містить мацерали вітриніт і фюзиніт. Вітриніт є домінуючим мацералом у зразку, складаючи 70-75%, в той час як фюзиніт становить важливу, але меншу частку- близько 8-10%. Пірит, відпрацьований мінерал, присутній у зразку у двох формах. Перший тип- це пірит органічного походження, розміром менше 0,2 мм, який зустрічається у каркасній формі і становить близько 2% зразка. Другий тип- пірит мінерального походження його поширеність становить близько 1-2%, і він демонструє структуру зменшення. У шарі зразка V₄B₂ пірит

органічного походження відноситься до піриту, який утворився в результаті біологічних процесів, таких як розпад органічних речовин в осадах або діяльність певних мікроорганізмів.

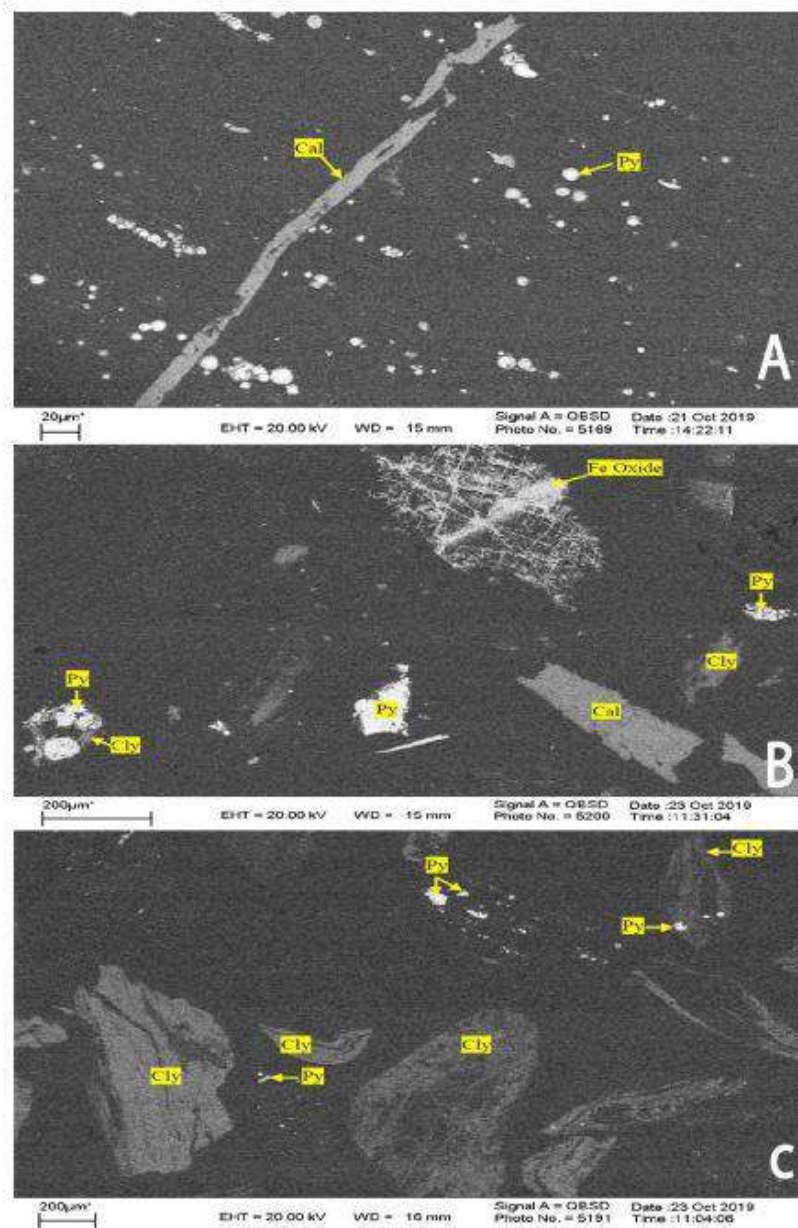


Рис. 2.5. Зображення скануючого електронного мікроскопа (SEM) зразків вугілля з Табасу

А) PE; В) V_4C_1 ; С) V_4B_2 , Cal.: кальцит, FeOxide: мінерали оксиду заліза, Cly: глинисті мінерали

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [16]

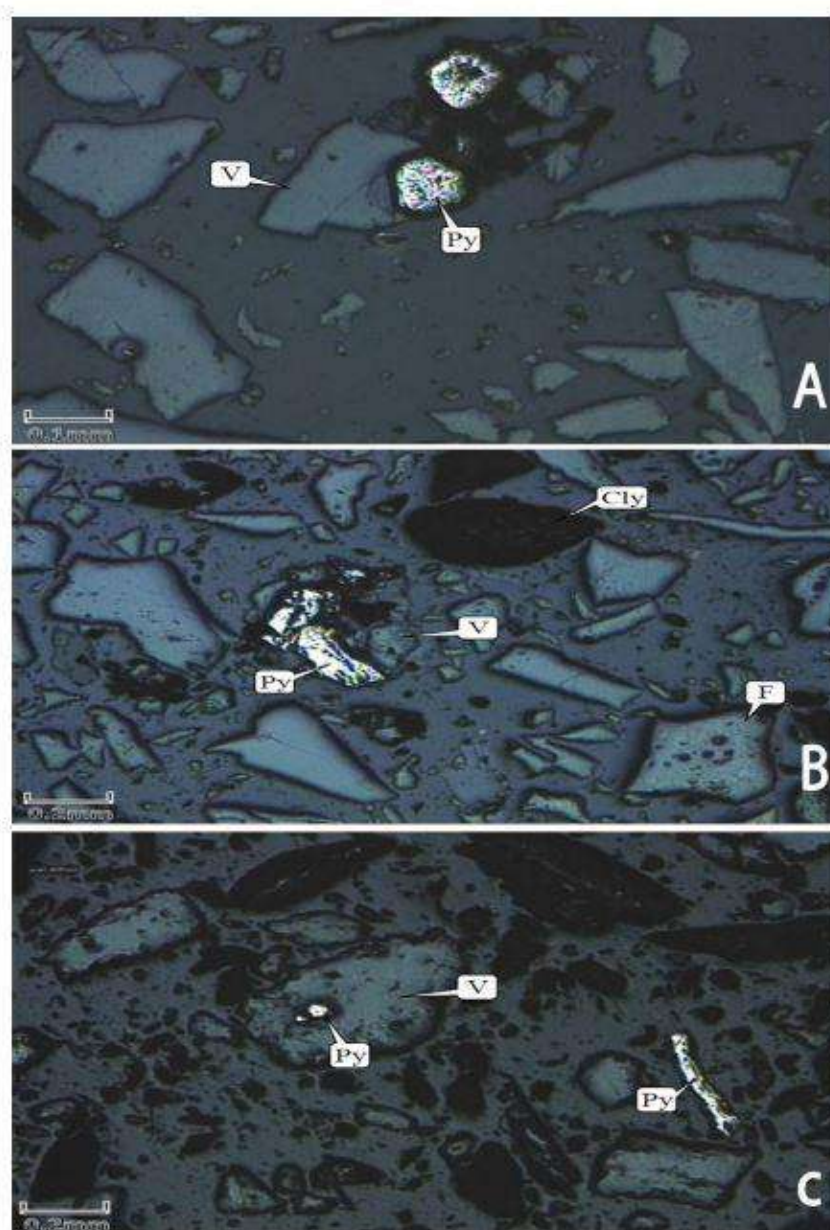


Рис. 2.6. Зображення зразків вугілля з Табаського родовища, отримані за допомогою поляризаційного мікроскопа: А) PE; В) V_4C_1 ; С) V_4B_2 , Py: Пірит, Cly: Глинисті мінерали, F- фюзиніт, V- вітриніт.

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [16]

У цих випадках пірит утворюється у вигляді мікроскопічних кристалів всередині органічної речовини або у вигляді агрегатів дрібних кристалів, відомих як фрамбоїди. Пірит мінерального походження - це пірит, який утворився в результаті неорганічних процесів. Цей тип піриту зазвичай

утворюється під час гідротермальної мінералізації, яка відбувається, коли гарячі флюїди, багаті на сірку і метали, протікають крізь гірські породи і відкладають мінерали на відкритих просторах або в тріщинах.

Вітриніт зустрічається в гідротермальних жилах, а також в осадових породах, де він може утворюватися в результаті діагензу - процесу перетворення осадових порід на тверді гірські породи. Вітриніт знову є найпоширенішим мацералом, та становить близько 70% зразка. Фюзиніт становить близько 10%.

2.3 Зниження вмісту сірки за допомогою біологічної десульфурації

Для того, щоб вугілля, яке буде вдуватися в доменну піч було більш ефективним, мало більш високий коефіцієнт корисної дії (ККД) з нього необхідно видаляти шкідливі домішки. Одні з основних шкідливих домішок для доменної плавки у вугіллі, яке вдувається є сірка (S) та зола (A). У сучасному світі існує багато методів видалення сірки та золи з вугілля. Розглянемо, на мою думку, найбільш ефективний та екологічний метод - біологічну десульфурацію. Біологічна десульфурація вважається більш екологічно безпечною, з легкою установкою, низьким споживанням енергії та високою привабливістю для видалення сірки з вугілля. Біологічні методи десульфурації, такі як біофлотація та біовилуговування, ґрунтуються на використанні мікроорганізмів та їхніх позаклітинних полімерних речовинах (ЕПС) для видалення сірки з вугілля. У процесі біофлотації використовуються мікроорганізми і бактерії замість деяких хімічних речовин, що застосовуються в процесі флотації. Біовилуговування, з іншого боку, передбачає використання мікроорганізмів для розщеплення сполук сірки у вугіллі та переведення їх у розчинні форми. Тому, враховуючи як екологічні проблеми, так і інвестиційні витрати, біологічний метод розглядається як найбільш прийнятний метод видалення сірчистого вугілля порівняно з іншими методами.

Згадуючи про мікроорганізми, живильні середовища та аналітичні метода можна сказати наступне. Бактеріальні культури були отримані з

науково- дослідницького центру мідного комплексу Сарчшме. Змішані культури склалися з мезофільних бактерій включаючи: ferrooxidans, *Leptospirillum ferrooxidans* та thiooxidans.

Дві змішані культури вирощували окремо в рідкому середовищі 9К, яке містило (на літр) 3,0 грамів $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,5 грамів $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,5 грамів K_2HPO_4 , 0,1 грамів KCl та 0,01 грамів $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Культури отримували Fe^{2+} (9 г/л), доданий у вигляді сульфату заліза та елементної сірки (10 г/л) як джерела енергії. Початковий рівень рН був доведений до 1,8 за допомогою H_2SO_4 . Культури, що склалися з 120 мл середовища і 30 мл посівного матеріалу, підтримували в 250 мл колбах зі струшуванням при 150 об/хв і температурі 34⁰С для мезофільних бактерій і при 45⁰С для помірно термофільних прокаріотів.

Для оцінки кількості клітин зразки відбирали через певні проміжки часу і вимірювали за допомогою лічильної камери Нойбауера (0,1·1/400 мм²) та оптичного мікроскопу Zeiss при збільшенні 1000х. Значення рН та окисно-відновного потенціалу (ОВП, Pt vs Ag/AgCl) також вимірювали через певні проміжки часу за допомогою рН/ОВП- метра Mettler Toledo.

Кількість сірки (органічної, піритної та сульфатної) визначили за стандартами ASTM- D3177, а кількість золи- за стандартом ASTM- 3174. Всі аналізи для цієї роботи були проведені дослідницьким центром збагачення корисних копалин, зазначимо, що кількість сульфатної сірки в кожному зі зразків вугілля була незначною і тому не бралася до уваги.

Для проведення стандартних флотаційних тестів використовували лабораторну флотаційну комірку Denver D12. Механічна мішалка працювала з фіксованою швидкістю 1000 об/хв, а швидкість аерації була встановлена на рівні 100 мл/хв. Для біофлотаційних випробувань була виготовлена пульпа з вмістом сухих речовин 30% і рН на рівні 8,0 (природне значення рН вугільної суспензії), яку кондиціонували при постійному перемішуванні. На рисунку 2.7 зображена принципова схема експериментів з біфлотації та біовилуговування. Під час кондиціонування рН розчину був відрегульований до 8 і

контролювалася протягом усього процесу. експерименти з біофлотації передбачають використання комбінації мезофільних бактерій: *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans* і *Leptosprillum ferrooxidans* для депресії піриту у вугіллі. Біофлотаційний експеримент включав збір піни протягом 10 хвилин, потім фільтрування і промивання піни і хвостів водою для усунення будь-якого сульфату, що утворився в результаті бактеріальної обробки. Промите вугілля потім висушували, зважували і піддавали аналізу на вміст золи та сірки.

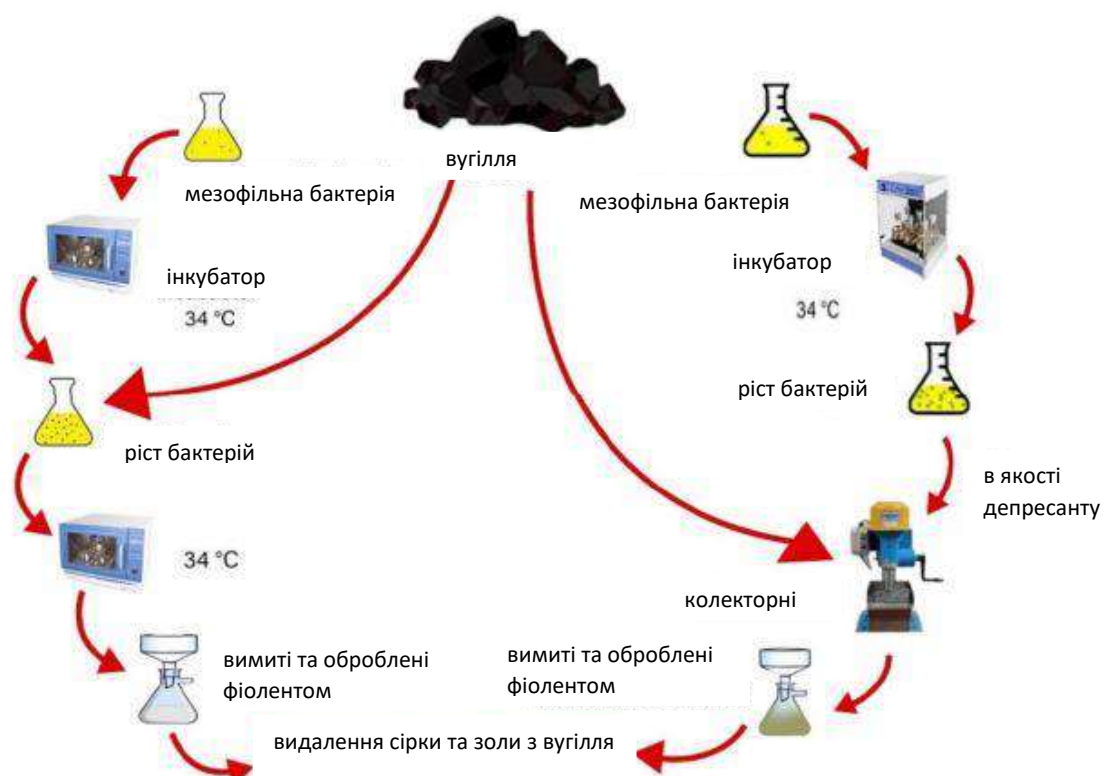


Рис. 2.7. Принципова схема використана методів біофлотації та біовилуговування для зменшення вмісту сірки та золи у вугіллі Табас

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [21]

Натомість основною метою експерименту з біологічного вилуговування є видалення великої кількості піритної сірки. Для цього комбінацію бактерій: *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans* і *Leptosprillum ferrooxidans*, які мають здатність окислювати пірит, у співвідношенні 1:1:1.

У цих дослідженнях змішану культуру мезофільних бактерій використовували для модифікації поверхні піритної сірки у зразках вугілля Табасу під час серії експериментів з біовилуговування та біофлотації [19].

У таблицях 2.7 та 2.8 представлені результати з біофлотації та біовилуговування сірки та золи у зразках вугілля Табас. Первинний склад вугілля, який був відібраний для експерименту представлено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.7

**Видалення сірки та золи за допомогою біофлотації зразках вугілля
Табас**

Зразки	Час, днів	Відсоток бактерій, %	Загальна сірка, %	Загальна видалена сірка, %	Піритна видалена сірка, %	Видалення золи, %
PE	20	10	1,34	27,57	61	51,02
PE	60	10	1,33	28,11	61	52,17
PE	20	15	1,29	30,27	62	54,18
V ₄ B ₂	20	10	2,05	0,97	0,85	66,14
V ₄ B ₂	60	10	2,01	2,90	3,42	68,26
V ₄ B ₂	20	15	1,96	5,31	8,55	69,34
V ₄ C ₁	20	10	1,9	9,52	10,59	51,73
V ₄ C ₁	60	10	1,88	10,48	12,58	56,04
V ₄ C ₁	20	15	1,83	12,86	13,91	59,23

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [21]

Результати показали, що і біовилуговування, і біофлотація є ефективними для десульфурзації вугілля та видалення золи, як показано на рисунку 2.7, причому біовилуговування було трохи кращим для видалення сірки, а біофлотація- для видалення золи. Найкраще видалення сірки було досягнуто за допомогою біовилуговування, з максимальним вилученням 72,43%, що спостерігається для зразка вугілля. Біофлотація також дозволила досягти значного видалення сірки, з максимальним вилученням 61%, що спостерігалось для того ж зразка.

Таблиця 2.8

**Видалення сірки та золи за допомогою біовилуговування зразках
вугілля Табас**

Зразки	Час, днів	Відсоток бактерій, %	Загальна сірка, %	Загальна видалена сірка, %	Піритна видалена сірка, %	Видалення золи, %
PE	10	10	0,8	56,76	79	63,12
PE	20	10	0,63	67,03	90	67,09
PE	10	20	0,66	64,32	84	65,18
PE	20	20	0,51	72,43	92	68,98
V ₄ C ₁	10	10	0,84	55,78	61,14	44,46
V ₄ C ₁	20	10	0,73	61,58	67,78	49,31
V ₄ C ₁	10	20	0,78	58,95	64,44	46,71
V ₄ C ₁	20	20	0,62	67,36	74,44	52,12
V ₄ B ₂	10	10	1,12	51,72	77,88	31,12
V ₄ B ₂	20	10	0,91	60,77	89,38	35,71
V ₄ B ₂	10	20	0,98	57,76	84,07	32,33
V ₄ B ₂	20	20	0,81	65,09	91,15	37,12

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [21]

З іншого боку, найкраще видалення золи було досягнуто за допомогою біофлотації: максимальне видалення 68,98% спостерігалось для зразка PE, а максимальне видалення 69,34% спостерігалось для зразка вугілля марки V₄B₂ з використанням біовилуговування [19].

Результати узгоджуються з попередніми дослідженнями, які показали, що бактеріальна дія та адсорбція бактеріальних клітин або їх позаклітинних продуктів на поверхні піриту є можливими механізмами зниження флотабельності піриту під час біофлотації.

Точний механізм біомодифікації флотабельності піриту все ще залишається невизначеним, але адсорбція біомаси (бактеріальних клітин та позаклітинних сполук) є найбільш вірогідним механізмом. Процес

біологічного вилуговування ґрунтується на здатності бактерій окислювати сполуки сірки у вугіллі і перетворювати їх у сполуки, що розчиняються у воді.

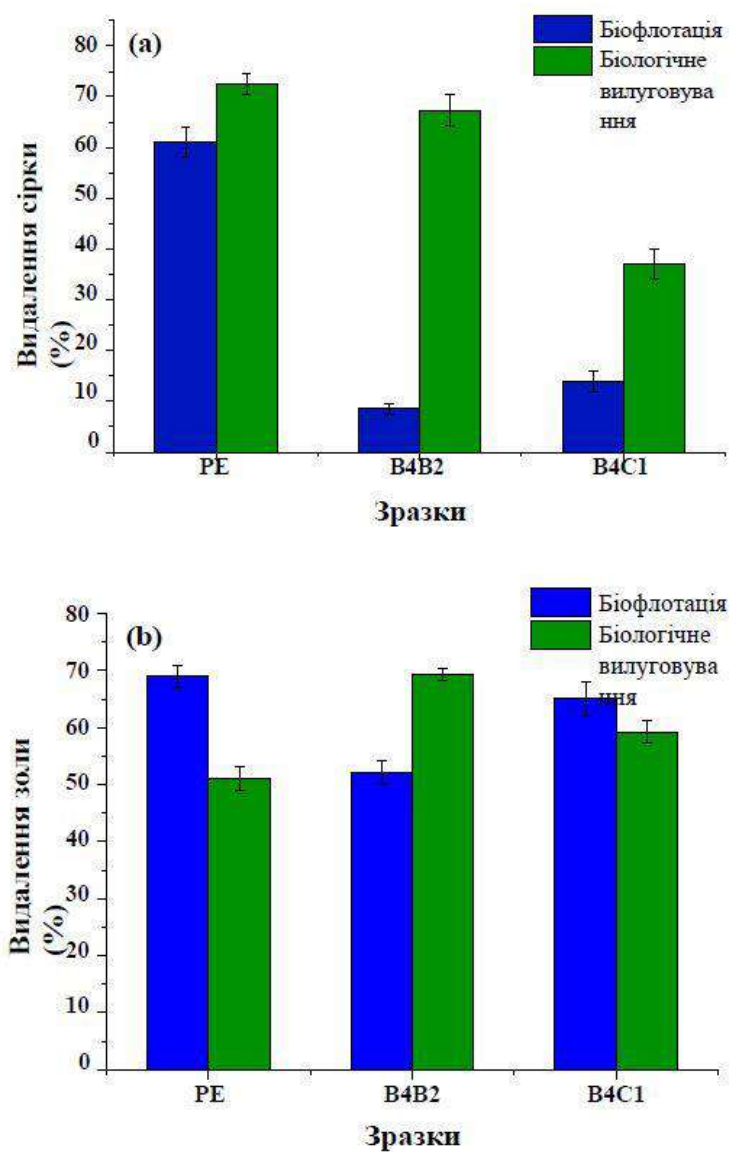


Рис. 2.7. Порівняльні графіки біофлотації та біовилуговування у:
а) Видаленні сірки; б) Видалення золи.

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [21]

Ацидофільні мікроорганізми, що окислюють залізо та сірку, можуть окислювати неорганічні сполуки сірки та пірит, що призводить до зменшення вмісту сірки у вугіллі. Зміни кислотності, загального заліза та тривалентного

заліза можуть бути використані для оцінки десульфурації вугілля під час біологічного процесу. Дослідження показало, що органічна сірка також значно видаляється зі зразка вугілля разом з піритною сіркою під час біологічного вилуговування, але біологічний процес впливає лише на піритову сірку і не впливає на органічну сірку.

Видалення органічної сірки 60% можна пояснити кислим середовищем рН 1,7 протягом 10-20 днів біологічного вилуговування. Найкращий результат біологічного вилуговування для видалення сірки та вугільної золи був отриманий протягом 20 днів з 20% бактерій. Результати показують, що комбінація обох методів може бути найбільш ефективною для десульфурації вугілля і видалення золи, при цьому вибір методу залежить від конкретного типу вугілля і бажаного результату. Необхідні подальші дослідження для повного розуміння механізмів, що лежать в основі кожного методу, і для оптимізації їх використання для десульфурації вугілля та видалення золи.

2.4 Методика вибору компонентів пиловугільного палива

Вибір компонентів пиловугільних паливних шихт з широкого спектру вуглецевмісних матеріалів. Це робиться для розширення сировинної бази та мінімізації собівартості - важливе завдання. Одним з таких матеріалів є торф.

Для проведення експерименту використовували наступне лабораторне устаткування та методику. Процеси, що відбуваються при нагріванні торфу і вугілля, аналізували на синхронному термічному аналізаторі (далі - термоаналізатор) STA 449 F5 Jupiter, поєднаному з мас-спектрометром QMS 403 Aeolos Quadro. Термоаналізатор являє собою вимірювальний комплекс, в якому поєднані функції диференційного скануючого калориметра і високочутливих аналітичних ваг. Управління вимірюванням і обробка вихідної інформації в термоаналізаторі здійснюється на комп'ютері за допомогою програмного пакету "Proteus". Експерименти проводилися в

атмосфері аргону з різним вмістом кисню у вимірювальній камері приладу. Швидкість нагріву печі - $10^{\circ}\text{C}/\text{хв}$, загальна витрата газу - $30 \text{ мл}/\text{хв}$.

Для дослідження структури матеріалу використовували растровий електронний мікроскоп Tescan Vega 4. Він оснащений консоллю енергетичної дисперсії Oxford Instruments 30 Xplore. Ця консоль дозволяє визначати хімічний склад. Діаметр області зняття спектру становить 2-3 мкм. Вміст елементів визначався з точністю до 0,1 мас. %.

Питому поверхню визначали методом Брунауера-Еммета-Теллера на приладі SORBI MS. Найвищу теплоту згорання визначали експериментально шляхом підвищення температури води в калориметричній посудині. У цю посудину поміщають металевий контейнер для спалювання твердого палива в атмосфері стисненого кисню.

Промислові експерименти проводилися на діючому металургійному заводі.

Головною особливістю ПВП є те, що, як уже зазначалося, він знаходиться в дисперсному стані на відміну від інших компонентів доменної шихти. Розмір окремих частинок не перевищує 70-100 мкм. Велика питома поверхня ПВП (за даними спеціалістів $3,2 - 3,5 \text{ м}^2/\text{г}$) визначає фізико-хімічні властивості і поведінку матеріалу. Крім того, дисперсність різко збільшує швидкість горіння. Реакції відновлення і горіння на поверхні твердих частинок при температурах вище $900 - 1000^{\circ}\text{C}$ протікають в дифузійному режимі [20]. Якщо зменшити розмір частинок R , то середні відстані L між сусідніми частинками в суспензії будуть зменшуватися пропорційно R , $L = kR$. Швидкість реакції V відображення у рівнянні 2.2, тобто швидкість зменшення розміру частинок:

$$V = -\frac{dR}{dt} \quad (2.2)$$

Обернено пропорційна відстані дифузії L зображено у рівнянні 2.3:

$$V = -\frac{dR}{dt} = \frac{k_1}{L} = \frac{k_1}{kR} \quad (2.3)$$

З двох вищевказаних рівнянь отримуємо час реагування, яке відображено у рівнянні 2.4:

$$t = \frac{R}{V} = \frac{R^2 k}{k_1} = k_3 R^2 \quad (2.4)$$

де k , k_1 , k_2 - коефіцієнти.

Таким чином, час реакції t пропорційний R_2 . Якщо суспензія із зернами 7,4 мм реагує протягом 600 с, то суспензія з розміром частинок 74 мкм буде реагувати в 104 разів швидше (0,06 с). Подрібнення вугілля є найбільш енергоємною операцією при приготуванні ПВП. Тому вибір фракції кінцевого продукту повинен ґрунтуватися на порівнянні витрат на подрібнення і втрат вугілля через неповне згоряння в фурменій зоні.

Час нагрівання окремих частинок торфу і вугілля оцінювався на прикладі довгополуменевого вугілля діаметром 80-100 мкм до температури 250°C і 1000°C без урахування можливих реакцій. Сушіння і подрібнення ПВП здійснюється при температурі 250°C, а вдування ПВП в фурменому просторі - при температурі 1000°C. Задача про нагрівання частинок вирішувалася чисельними методами в пакеті Matlab. Параболічне диференціальне рівняння теплопровідності (нестационарний випадок) розв'язувалося при граничних умовах Діріхле.

Торф в середньому має вищу теплопровідність, теплоємність і меншу щільність порівняно з вугіллям. Час нагрівання частинок торфу становить порядку $4 - 6 \times 10^{-2}$ с, для вугілля він більший (10-1 с). Ймовірно, що при таких швидкостях нагріву в промислових умовах процеси деструкції і горіння будуть перекривати один одного.

Розрахунки показують, що при вдуванні в фурменій простір вугільних частинок розміром 100 мкм (при температурі дуття 1000°C) час перебування частинки в фурменому просторі становить 0,01 - 0,04 с.

Це можна порівняти або навіть менше, ніж час нагрівання окремих частинок вугілля до температури вибуху. Ймовірно, з цієї причини згорає лише близько 80% вугілля. Решта досягає меж фурменої зони у вигляді дегазованих частинок, які через колосникову решітку. Для зменшення втрат ПВП температуру дуття підвищують до 1100 - 1300°C, а вміст кисню в ньому - до 25 - 33%, що потребує додаткових витрат. Повнота згорання частинок торфу через більшу теплопровідність, менший час нагрівання і високу дисперсність вуглецю буде вищою, ніж у вугілля.

Вугілля подрібнюється, сушиться і класифікується в шаровому млині. Для вибору режиму роботи цього млина і параметрів фурменої зони доменної печі необхідні дані про швидкості реакцій, що протікають в ПВП при нагріванні. На сьогоднішній день вченими вивчені наступні проблеми:

- термічної деструкції та горіння вугілля при різних швидкостях нагрівання; визначено енергії активації;

- вплив розміру частинок, швидкості продувки газу і кількості кисню на руйнування і горіння вугілля, на склад газів, що виділяються; кінетика реакції;

- термічного розкладання торфу за різного вмісту кисню в атмосфері, стадій втрати маси та кінетики реакцій;

- склад летких сполук, що виділяються при нагріванні та горінні торфу; енергія активації та константи швидкості реакції горіння і теплота згорання коксового залишку;

- вплив швидкості нагрівання торфу на його деструкцію та горіння.

За допомогою прецизійного обладнання (термоаналізатора) були отримані наступні результати. На термічну деструкцію торфу в інертній атмосфері припадає 59% втрат маси. Встановлено, що максимальна швидкість деструкції для торфу на 35% вища, ніж для вугілля, криві зміни зображені на рисунку 2.8. Встановлено, що швидкість термічної деструкції зменшується зі

збільшенням ступеня метаморфізму. Для торфу вона становить 2,69%/хв, для бурого вугілля - 1,48%/хв, для пісного вугілля - 0,55%/хв, для антрациту - 0,30%/хв. Виділення летких компонентів починається пізніше (при 425°C для пісного вугілля, проти 300°C для бурого вугілля і 220°C для торфу). Втрата маси при спалюванні не залежить від вмісту кисню в газі і становить близько 86%. Нагрівання вугілля і торфу проводилося в атмосфері синтетичного повітря і в киснево-аргонових сумішах. Пікова швидкість термічної деструкції довгополуменевого вугілля була зафіксована при близьких температурах: 6,7% O₂ - 439,5°C, 10% O₂ - 438,4°C, 13,3% O₂ - 434, 20,9% O₂ - 439°C.

Швидкість деструкції практично не залежить від вмісту кисню в газовій фазі. Температура початку деструкції вугілля становить 370-390°C. Продуктами деструкції є H₂O, CO₂, CO, CH₄, H₂, SO₂, NO₂, NO, крива зміни концентрації цих хімічних елементів зображена на рисунку 2.9. Деструкція вугілля також призводить до збільшення пористості, питомої поверхні і відповідного збільшення реакційної здатності. Вимірювання на приладі показали, що питома поверхня вугілля різко зростає під час видалення летких компонентів. Для вугілля з низьким ступенем метаморфізму вона збільшується приблизно в 80 разів. Збільшення пористості призводить до зменшення теплопровідності на порядки, що сповільнить швидкість подальшого нагрівання окремих частинок до температури навколишнього середовища.

Швидкість горіння вугілля і торфу зростає зі збільшенням вмісту кисню в газі для промивання зразка (в термоаналізаторі) від 1,75%/хв при 6,7% O₂ до 3,5%/хв при 20,9% O₂. Швидкість горіння торфу вища, ніж вугілля, і дорівнює 4,5%/хв в атмосфері синтетичного повітря, зображена на рисунку 2.10. Це відповідає закону діючих мас, згідно з яким визначається швидкість реакції $C+O_2=CO_2$.

Пропорційна парціальному тиску кисню PO₂, експериментальні температури початку і кінця горіння, максимальна швидкість і відповідний пік

виділення вуглекислого газу падають зі збільшенням вмісту кисню в газовій фазі. Для торфу всі перераховані температури помітно нижчі, ніж для вугілля.

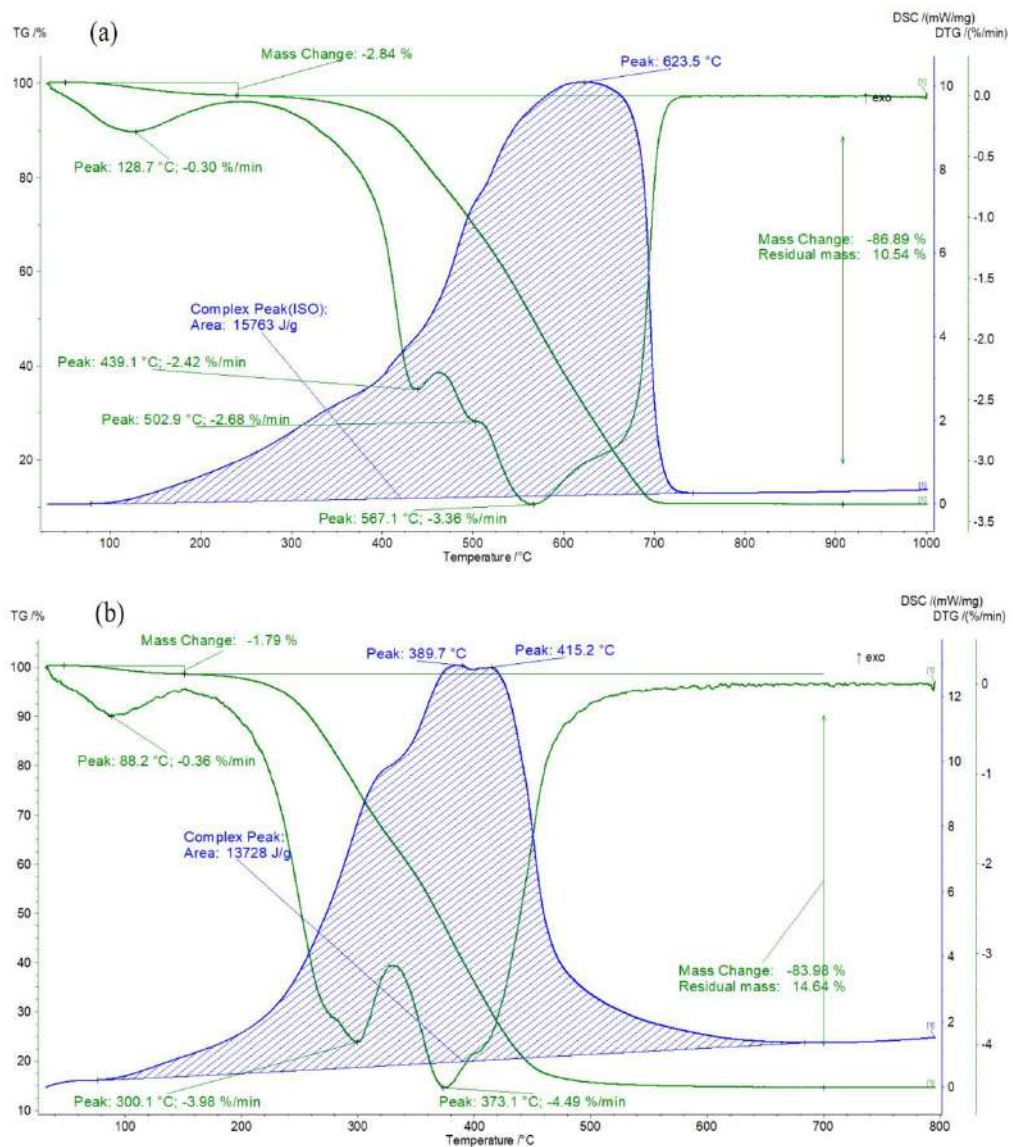


Рисунок 2.8. Криві зміни маси (TG), швидкості зміни маси (dTG) і теплових ефектів (DSC) при нагріванні довгополуменового вугілля (а) і торфу (б) в атмосфері синтетичного повітря (витрата газу 30 мл/хв).

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [21]

На власне горіння припадає близько 27% від загальної втрати маси торфу, тоді як для довгополуменового вугілля ця величина становить 57%. Це

пояснюється низькою масовою часткою нелеткого вуглецю в аналітичному зразку торфу, C_a^f 26,3%.

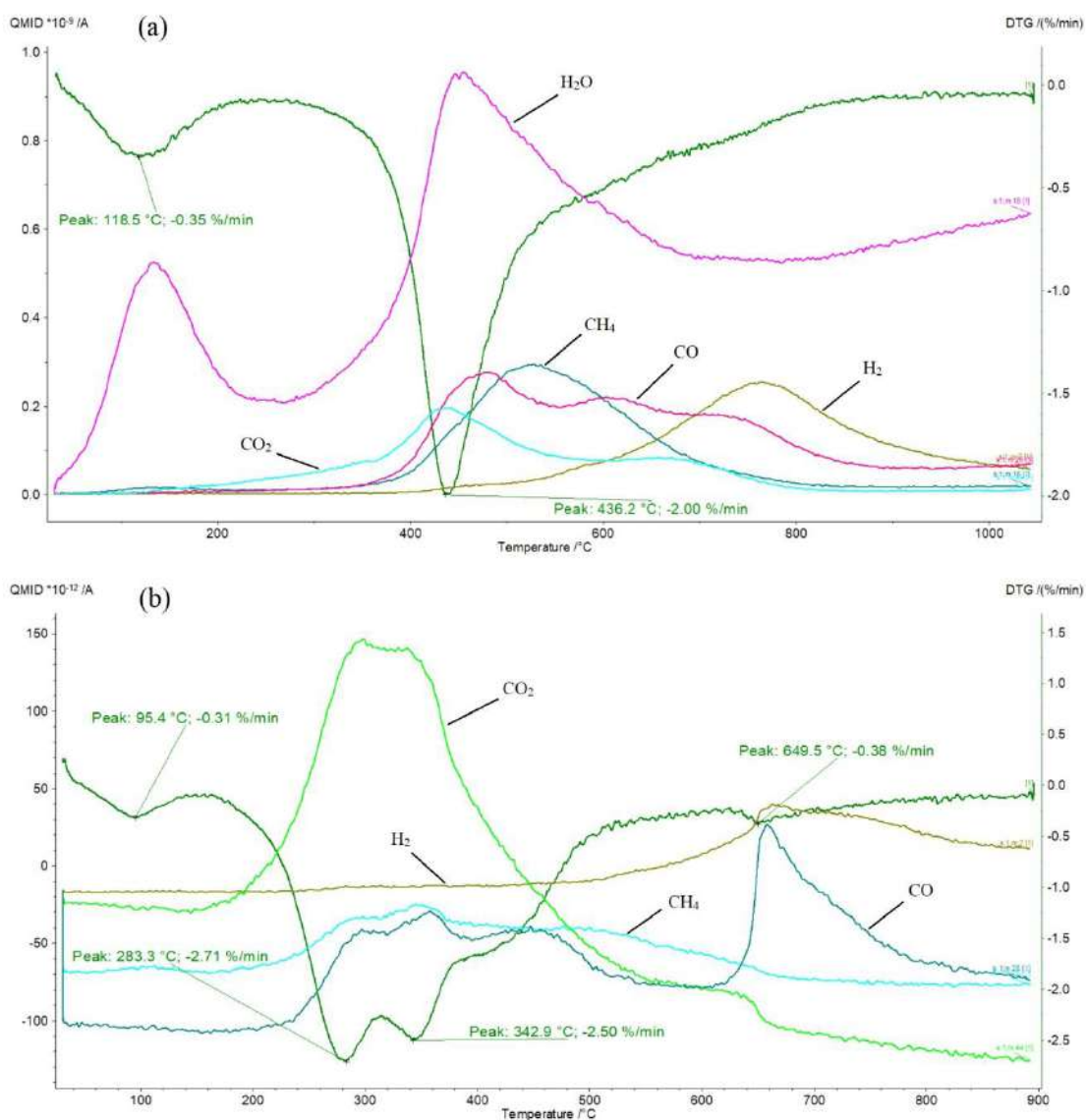


Рис. 2.9. Швидкість зміни маси (dTG) та інтенсивність виділення (QMID) H₂O, CO, CO₂, CH₄ і H₂ з довгополуменевого вугілля (а) і торфу (б) при їх нагріванні. Середовище в печі - аргон (витрата газу 30 мл/хв) [20].

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [21]

Так, експериментально встановлено, що потужність яка виділяється при спалюванні торфу, значно вища, ніж при спалюванні вугілля. Це компенсує його нижчу теплотворну здатність.

Кількісний опис зв'язку між ступенем перетворення α при термічній деструкції, часом і температурою в неізотермічних умовах здійснено на основі припущення. Це припущення полягає в тому, що неізотермічну реакцію за нескінченно малий проміжок часу можна вважати ізотермічною [20].

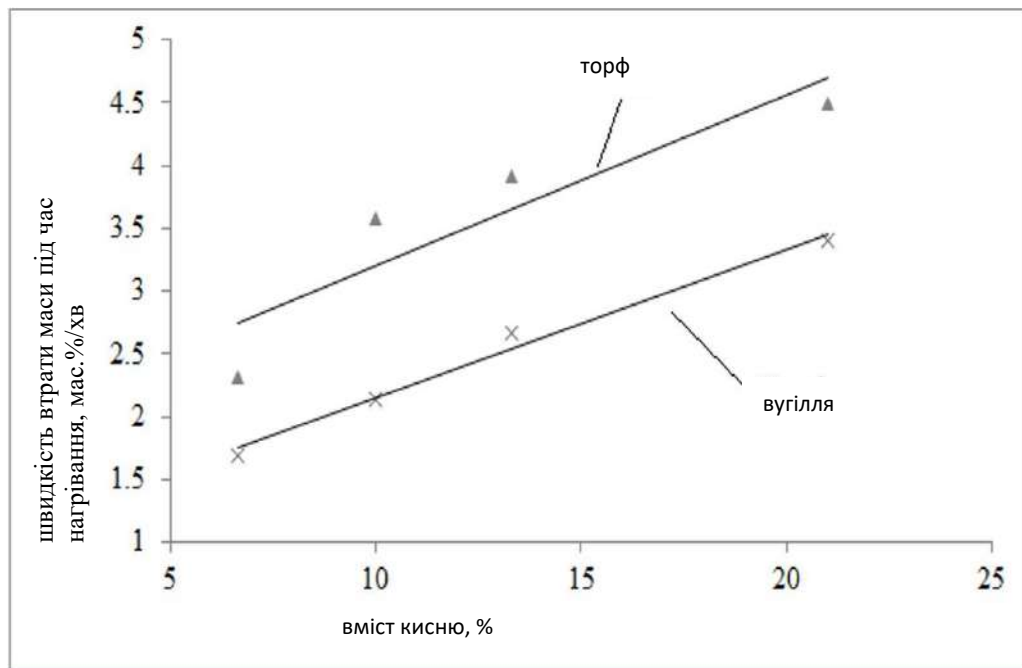


Рис. 2.10. Залежність максимальної швидкості втрати маси (піку швидкості довгополуменевого вугілля і торфу при нагріванні до 900-1050°C від вмісту кисню в газовій суміші (загальна витрата газу 30 мл/хв, швидкість нагрівання 10°C/хв).

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [16]

На основі регресійного аналізу було встановлено, що більшість експериментальних даних рівнянням 2.5 кінетики дифузії Яндера:

$$f(\alpha) = \left[1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}}\right]^2 = K_{\text{я}} * \tau \quad (2.5)$$

і руйнування бурого вугілля описуються рівнянням 2.6 анти-Яндера:

$$f(\alpha) = \left[1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}}\right]^2 = K_{\text{а-я}} * \tau \quad (2.6)$$

де $K_{\text{я}}$, $K_{\text{а-я}}$ - сталі швидкості.

Теплові ефекти визначали за кривими ДСК на синхронному термічному аналізаторі, які дорівнюють зміні ентальпії. Зміна ентальпії відповідає площі під кривою ДСК. Вона розраховується за програмою Proteus. Руйнування і горіння перекривають одне одного. Обидва процеси є екзотермічними. Тому було визначено сумарний тепловий ефект, який для вугілля лежить в діапазоні від 15510 до 17751 кДж/кг. Для торфу він нижчий (12816 - 14148 кДж/кг) через менший вміст вуглецю. Найвища теплотворна здатність торфу (в перерахунку на сухий беззольний стан палива) також менша для торфу (23329 кДж/кг), ніж для довгополуменевого вугілля (30961 кДж/кг). Ця найвища теплота згорання визначається підвищенням температури води в калориметричній посудині. Тепловий ефект деструкції був встановлений тільки в експериментах з вугіллям і торфом в атмосфері аргону. Він становить 35-40% від загальної кількості тепла, що виділяється. Величина теплових ефектів не залежить від кількості кисню в атмосфері, оскільки вони визначаються тільки початковим і кінцевим станами системи.

Розроблено метод заміни компонентів шихти ПВП на інші види палива. Встановлено можливість використання фрезерного торфу замість частини пісного вугілля. Другий компонентом ПКФ було довгополуменеve вугілля. Все це зроблено на основі експериментальних лабораторних і промислових дослідів.

Склад ПВП підбирається експериментально, виходячи з технологічних умов доменного процесу, з урахуванням вартості матеріалів, що входять до нього. При виборі компонентів необхідно орієнтуватися на наступні параметри: вміст вуглецю і, відповідно, теплота згоряння; низька зольність (не більше 10%), її склад; мінімальна кількість оксидів лужних металів; склад і кількість летких речовин. Розрахунок маси введеного компонента повинен базуватися на тому, що загальний вміст вуглецю в базовому варіанті для конкретної доменної печі повинен залишатися незмінним. Вибір параметрів сушіння ПВП встановлюється виходячи з температурних інтервалів руйнування і вигорання компонентів. Сушка повинна проводитися при температурах нижче виділення летких і горіння.

Торф відрізняється від використовуваного вугілля більш низькою теплотворною здатністю; високим виходом летких речовин $V^{daf} = 70\%$; висока вологість (близько 50%) і низький вміст вуглецю $C^{daf} = 57,28\%$. Частинки торфу мають видовжену форму "волокон" розміром від 50 до 400 [20]. Переважає комірчаста структура частинок відображено на рисунку 2.11, рідше волокниста та шарувата. Середній розмір комірок становить 10-30 мкм. Порівняння результатів досліджень торфу з даними традиційних ПСФ за складом золи показує, що вони відрізняються за вмістом основних компонентів: CaO і MgO - підвищений, Al₂O₃ - знижений, SiO₂ - на близькому рівні. Кількість оксидів лужних металів (Na₂O, K₂O) та сірки в торф'яній золі нижча, фосфору - дещо вища. Масова частка загальної сірки в перерахунку на сухий стан палива в торфі значно нижча, ніж у ПКФ. Вуглець торфу входить до складу целюлози, гумінових кислот та інших сполук. Як показали дослідження, він знаходиться в дисперсному стані і розподілений по всьому об'єму торф'яних волокон. Розмір окремих частинок, що містять вуглець, становить кілька мкм. Цим пояснюється висока швидкість горіння торфу і можливість його самозаймання. У процесі термічної деструкції вуглець переходить в окрему, імовірно, аморфну фазу.

Встановлено, що найвища теплота згоряння, вихід летких речовин, кількість нелеткого вуглецю в ПКФ лінійно залежать від вмісту торфу. Розкид значень за основними показниками для ПКФ для вугільної шихти відображено на рисунку 2.12 і (вища теплота згоряння, вихід летких речовин, вміст вуглецю та сірки) не перевищує значень, отриманих навіть при кількості торфу замість пісного вугілля, що дорівнює 25% [20].

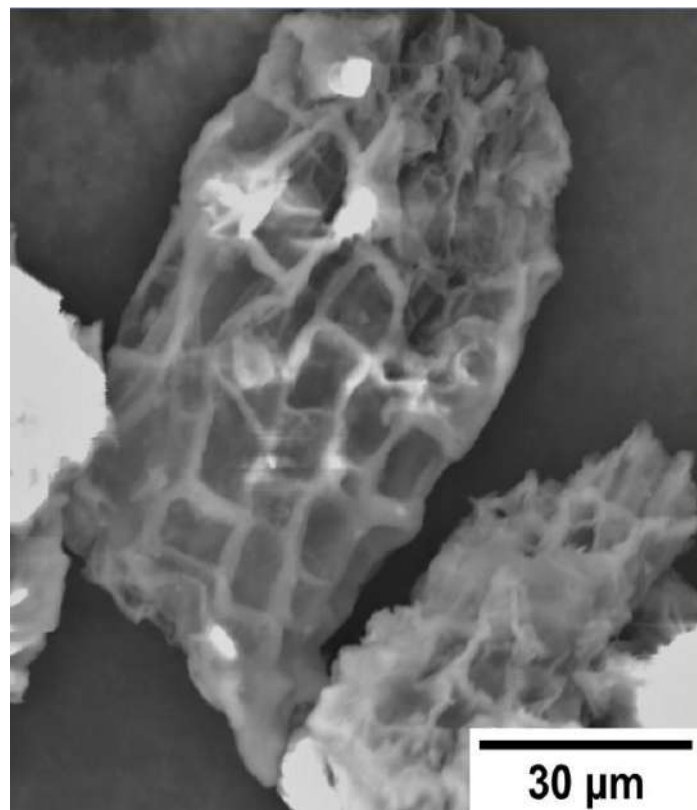


Рис. 2.11. Частинки торфу з комірчастою структурою. Товщина стінок клітин, що містять вуглець, не перевищує 1-2 мкм. Знімок зроблено в режимі BSE.

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [19]

Вироблене під час експериментально періоду пиловугільне паливо вдували в промислову доменну піч. Устаткування тракту подачі ПВП і млина огрудкування працювало стабільно, без зміни робочих параметрів. Відхилень в роботі доменної печі не було.

Завдяки впровадженню торфу знизилася витрата пісних марок вугілля. З урахуванням вмісту вуглецю в них заміщення склало 1 кг пісного вугілля на 1,59 кг торфу. Витрата ПВП і природного газу практично не змінилася. Продуктивність доменної печі, основність шлаку і склад чавуну відповідають роботі в базовому періоді.

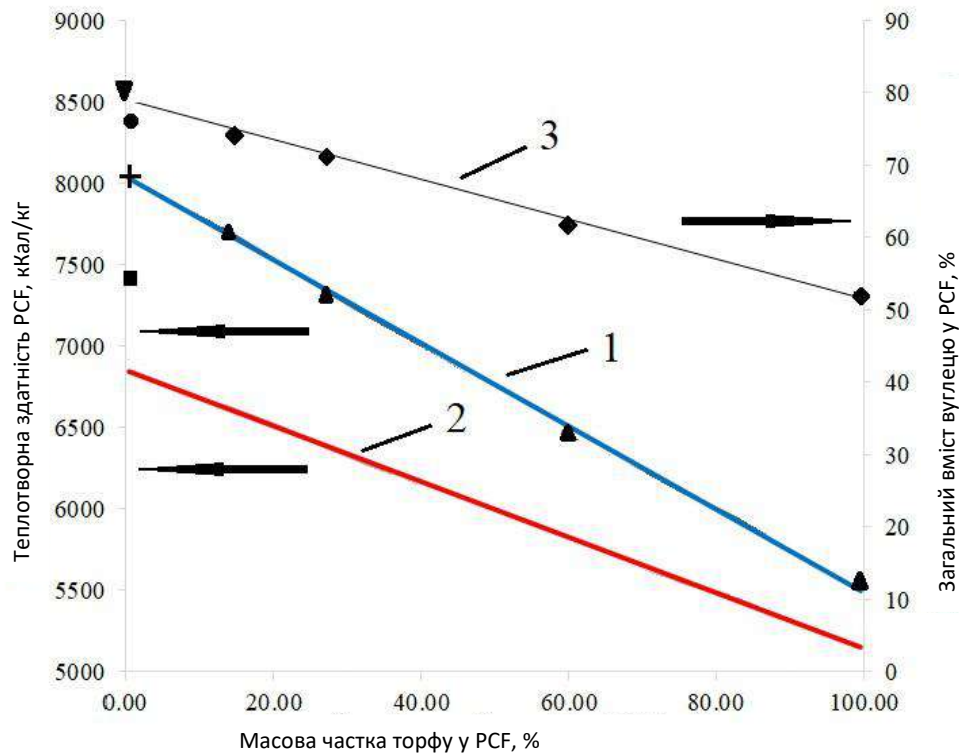


Рис. 2.12. Залежність теплотворної здатності ПКФ від вмісту в ньому сухого беззолного торфу:

1 - найвища теплота згоряння (розрахована за адитивністю); 2 - найнижча теплота згоряння(розраховано за адитивністю); 3 - загальний вміст вуглецю в ПВП; ▲ - експериментальні дані щодо найвищої згоряння; ● - найвища теплота згоряння пісного вугілля; ■ - найвища теплота згоряння довгополуменевого вугілля; ▼ - вміст нелеткого вуглецю в пісному вугіллі; + - найвища теплота згоряння ПВП (розрахунок за адитивністю на основі експериментальних даних для пісного та довгополуменевого вугілля); базове ПВП на 70% складається з пісного вугілля та на 30% з довгополуменевого вугілля.

Примітка. Джерело: розроблено за допомогою [21]

Максимальний вміст торфу в суміші ПВП повинен визначатися параметрами доменного процесу (температура чавуну, склад чавуну і шлаку).

Час горіння частинок ПВП обернено пропорційний квадрату лінійного розміру. Подрібнення вугілля є найбільш енергоємною операцією при приготуванні ПВП. Тому вибір фракції кінцевого продукту повинен ґрунтуватися на порівнянні витрат на подрібнення і втрат вугілля через неповне згоряння в фурменому просторі доменної печі.

ВИСНОВКИ

1. Системи вдування пиловугільного палива (ПВП) суттєво змінили підхід до доменного виробництва, забезпечуючи підвищення його ефективності та зменшення витрат.

Установки, розроблені фірмами «Petrocarb» і «Babcock and Wilcox Co.» (США), продемонстрували високу надійність і гнучкість у роботі з різними видами вугілля. Наприклад, у системі «Petrocarb» подрібнене вугілля фракції < 0,149 мм транспортується при витраті повітря 3,1 м³/хв і тиску 0,24 МПа, забезпечуючи стабільну подачу до доменної печі.

На заводі «National Steel Corporated» застосування ПВП дозволило автоматизувати подачу вугілля і зменшити вплив людського фактору.

Системи, як-от «Babcock and Wilcox Co.», із потужністю до 540 т/добу дозволяють готувати вугілля з дрібною фракцією (90% < 90 мкм), що сприяє більш ефективному спалюванню у доменних печах.

2. Практичний досвід використання ПВП у різних країнах довів ефективність цієї технології.

У Великобританії піч «Королева Мері» за два роки експлуатації з ПВП підвищила продуктивність із 1959 т/добу до 2323 т/добу, зменшивши витрати коксу з 488 кг/т до 426 кг/т чавуну.

У Нідерландах система «Арамко» забезпечила стабільність роботи доменних печей навіть при високих витратах вугілля до 130 кг/т чавуну, при цьому споживання коксу зменшилося до 390 кг/т чавуну.

Японський досвід на печі №2 заводу в Оїте показав, що підвищення витрати ПВП до 100 кг/т чавуну забезпечило зростання питомої продуктивності з 1,73 т/м³/добу до 1,74 т/м³/добу, що вказує на поліпшення газодинамічних умов плавки.

3. Економічні вигоди від використання ПВП обумовлені зниженням витрат на паливо, швидким поверненням інвестицій та стабільністю роботи доменних печей.

У порівнянні з іншими видами палива, наприклад, природним газом, вартість використання ПВП у 1987 році була на 5,81 долара/т чавуну нижчою. Це досягнуто завдяки нижчій ціні на пиловугільне паливо та його ефективності.

Капітальні витрати на системи вдування становили 26,65 млн доларів, але завдяки високій продуктивності термін їх окупності складав лише 1,7 року.

Заміна частини коксу ПВП також дозволила знизити експлуатаційні витрати на утримання коксових батарей і забезпечити стабільність виробництва навіть у випадках дефіциту коксу.

4. Україна має значні запаси вугілля, які можна використовувати для впровадження ПВП, але цей процес ускладнюється низкою факторів.

За даними Українського державного науково-дослідного вуглехімічного інституту, у 1983 році планувалося використання 4,77 млн т вугілля/рік для ПВП. Однак у реальності було впроваджено лише одну установку на Донецькому металургійному заводі з обсягом вдування 170–180 кг/т чавуну.

Загальні запаси малозольного вугілля марок ДГ і Г становлять 14,9 млрд т, однак значна частина з них потребує додаткової підготовки. Для досягнення стабільності технології можливий імпорт вугілля з низьким вмістом сірки, що відповідає міжнародним стандартам.

Незважаючи на труднощі, ПВП має великий потенціал для розвитку в Україні завдяки високій економічній ефективності і можливості зниження витрат на виробництво.

5. Екологічні переваги ПВП значні, що робить цю технологію привабливою для модернізації металургійної галузі.

У Нідерландах застосування ПВП дозволило знизити витрати коксу на доменній печі №6 з 533 кг/т до 390 кг/т чавуну, що призвело до зменшення викидів CO₂ та інших забруднювачів.

В Японії на доменній печі №1 заводу в Оїте зниження витрати коксу з 466,8 кг/т до 411,2 кг/т чавуну сприяло підвищенню якості чавуну за рахунок зниження вмісту кремнію з 0,35% до 0,25% та сірки до 0,027%.

Використання ПВП також зменшує навантаження на коксові батареї, що скорочує викиди шкідливих речовин, пов'язаних із виробництвом коксу.

6. Системи вдування пиловугільного палива (ПВП)

Використання ПВП дозволяє зменшити витрати коксу, які складають до 30% собівартості чавуну, скоротивши їх до 250 кг/т чавуну.

Застосування систем, таких як шарові млини для подрібнення вугілля до фракції 57-125 мкм, забезпечує високу реакційну здатність і ефективність спалювання.

Експерименти вказують, що підвищення температури дуття до 1100–1300°C і вмісту кисню в повітрі до 25–33% дозволяє збільшити повноту згоряння до 80%.

7. Незважаючи на те, що всі чотири розглянутих зразка вугілля знаходяться в межах придатних для вдування, саме Табаське вугілля є найкращим через високий вміст нелеткого вуглецю (57%) та низький вміст вологи (9%), що забезпечує високу енергоефективність. Змішування вугілля може покращити комбінаційні властивості порошкоподібного вугілля.

Аналіз зольності показав, що Кармозд і Табас мають зольність 10–11%, що відповідає допустимим межам для вдування в доменні печі. Вміст SiO_2 у золі досягає 47% у Сарахи і 40,5% у Табаса, що робить їх придатними для використання в металургії при рівнопропорційному змішуванні. Випробування на відбиття вітриніту та горіння показують, що вугілля кармозд має найвищий відсотковий вміст летких речовин, найнижчий показник відбиття вітриніту та ранг вугілля, а також найвищу ефективність горіння. Але враховуючи всі інші показники експерименту, а також, те що максимальний коефіцієнт відбиття вітриніту (R_{\max}) для Табасу становить 1,55, що класифікує його, як бітумне вугілля з низьким виходом летких речовин, тому саме ця марка вугілля пропонується як найкраща для вдування у доменну піч.

8. При вивченні потенціалу біологічних методів, зокрема біофлотації та біовилуговування, для видалення сірки та золи із вугілля Табас показало, що комбінація мезофільних бактерій для видалення шкідливих домішок є

високоєфективним методом досягнувши відсотків зниження до 62% для піритної сірки і 54,18% для золи. Результати показали, що час тестування був найбільш важливим фактором, причому найкращі результати спостерігались, коли умови тестування включали 20% бактерій за об'ємом і тривалість тестування становила 20 днів. За цих обставин у зразках вугілля Табас було зафіксовано значне зниження золи, піритної сірки та загальної сірки. Порівняння всіх методів використаних у дослідженні, показало, що біологічне вилуговування було найефективнішим методом для досягнення високих рівнів скорочення сірки. Таким чином, біологічні методи біофлотації та біовилуговування можуть ефективно видаляти сірку і золу із зразків вугілля Табас. Результати показали, що і біовилуговування, і біофлотація ефективні для десульфурації вугілля і видалення золи, причому біовилуговування трохи краще видаляє сірку, а біофлотація трохи краще – золу. Результати лабораторних експериментів свідчать про те, що використання мезофільних ацидофільних бактерій у процесах біофлотації та біовилуговування може значно покращити видалення піритної сірки та золи. Одним з факторів, який слід враховувати, є економічна ефективність запропонованих змін. Іншим фактором, який слід враховувати, є потенційний вплив запропонованих змін на загальний виробничий процес і якість продукції. Збільшення об'єму бактерій і довший час біологічного вилуговування можуть вплинути на час переробки та якість вугілля.

9. Кінетику термічної деструкції та горіння ПКФ і його компонентів, включаючи торф, досліджували на прецизійному обладнанні. Це здійснювалося в процесі нагрівання в інертній та окислювальній атмосфері.

Час горіння частинок ПВП обернено пропорційний квадрату лінійного розміру. Подрібнення вугілля є найбільш енергоємною операцією при приготуванні ПВП. Тому вибір фракції кінцевого продукту повинен ґрунтуватися на порівнянні витрат на подрібнення і втрат вугілля через неповне згоряння в фурменому просторі доменної печі.

При виборі компонентів необхідно орієнтуватися на такі параметри: вміст вуглецю і, відповідно, теплота згоряння; низька зольність, її склад; мінімальна кількість оксидів лужних металів; склад і кількість летких речовин. Розрахунок маси введеного компонента повинен базуватися на тому, що загальний вміст вуглецю в базовому варіанті для конкретної доменної печі повинен залишатися незмінним.

Тривалість сушіння ПКФ встановлюється на основі температурних інтервалів деструкції та горіння компонентів. Сушіння слід проводити при температурах, нижчих за температуру виділення летких та горіння.

Пилувугільне паливо, вироблене під час пілотного періоду, яке містило торф замість частини пісного вугілля, було вдуто в промислову доменну піч. Устаткування тракту подачі ПВП і шихтового млина працювало стабільно, без зміни робочих параметрів. Відхилень в роботі доменної печі не було.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жак Р.М., Юсфин Ю.С., Черноусов П.И. Вдувание различных углеводородов в горн доменных печей. Обзорная информация, институт «Черметинформация» 1985. №3. 15с.
2. Maldonado R., Hanniker G., Pettifor M. Вдувание угля в доменную печь // Экспресс-информация, Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии. 1986. №2. 1с.
3. Namilius A., Dero H., Debal D. Вдувание пылеугольного топлива в Бельгии // Экспресс-информация, Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии. 1990. №12. 1с.
4. Вдувание пылеугольного топлива в Нидерландах / W. Кoen, R.V. Vogel, H.L. Tokoreus, G.A. Flierman // Экспресс-информация, Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии. 1986. №21. 1с.
5. Allaire B., Grafeuille F., Lao D. Вдувание пылеугольного топлива во Франции // Экспресс-информация, Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии. 1986. №12. 1с.
6. Кутнер С.М. Доменное производство Японии. Обзорная информация, институт «Черметинформация» - 1982. №3. 12 с.
7. Танака Е. Установка для вдувания пылеугольного топлива в доменную печь // Экспресс-информация, Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии. 1985. №24. 21с.
8. Фудзивара Я., Нода Т., Есида М. Работа доменной печи № 1 завода в Нагое, Япония, с вдуванием пылеугольного топлива и высокой производительностью // Экспресс- информация, Центральный научно-

исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии.1985. №19.4с.

9. Сайно М., Сэридзава Я., Сакагути Я. Система вдувания пылеугольного топлива в доменную печь // Экспресс-информация, Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии. 1986.№9.1с.

10. Кумада Т., Кавада Т., Кумэ С. Работа доменной печи в режиме вдувания пылеугольного топлива с нефтяным коксом // Экспресс-информация, Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии.1987.№17.3с.

11. Сато К., Вакимото Х., Эндо Ю. Влияние предварительного нагрева угля на процесс его горения//Экспресс-информация, Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии.1987.№18. 3с.

12. Lundh Per-Andres. Эксперименты по вдуванию пылеугольного топлива с плазменным подогревом дутья // Экспресс-информация, Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии.1986. №22.1с.

13. Тайра Х., Тамура С., Икэда Д. Разработка керамических теплоизоляционных колец для фурм доменных печей, работающих на пылеугольном топливе // Экспресс-информация, Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии.1990. №5.1с.

14. Langner К., Воеск Т. Оптимизация вдувания угольной пыли в доменную печь // Экспресс- информация, Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии.1989. №20.1с.

15. Natano M., Miyazaki T., Shimoda T. Новый процесс внедоменного производства чугуна с вдуванием пылеугольного топлива и кислорода // Экспресс- информация, Центральный научно-исследовательский институт

информации и технико-экономических исследований черной металлургии. 1986. №19.1с.

16. Sh. Raygan, H. Abdizadeh, A. Eskandari Rizi Evaluation of Four Coals for Blast Furnace Pulverized Coal Injection// Journal of Iron and steel research. 2010 №17. 8-12 с.

17. Мунтян А.В., Ярошевський С.Л. Про ресурси для приготування пиловугільного палива// Тези доповіді VII міжнародної наукової конференції аспірантів та студентів// Збірка докладів VII міжнародної наукової конференції аспірантів та студентів. Донецьк: ДонНТУ. 2009. 66-67с.

18. Ярошевський С.Л. Перспективи та ефективність доменної технології визначаються ступінню заміни коксу пиловугільним паливом // Металургійні процеси та обладнання. 2008. №11. 35-44 с.

19. Studing the effect of coal strength parametrs on coal and gas outburst: A case study of Tabas coal mine. Journal of geomine. 2023. №1. 6-10 с.

20. Ярошевский С.Л., А.М. Кузнецов, А.В. Кузін, З.К. Афанасьєва. Преспективи та ефективнсіть впровадження пиловугільного палива у доменних цехах України// Донецький національний технічний університет. 2010. 4с.

21. A.M. Amdur, S.A. Fedorov. Selection of pulverized coal fuel for blast furnace based on the study of physico- chemical process durin their heating. Research laboratory of Distrubed Lands` and Technological objects. 2024. 3-10 с.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку здобувача-випускника

Кривенко Руслана Валерійовича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії
Спеціальність 161 Хімічних технологій та інженерії

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна магістерська робота

Тема кваліфікаційної роботи Обґрунтування критеріїв вибору вугля для виробництва пило-вугільного палива з метою оптимізації роботи доменних печей

Керівник кваліфікаційної роботи: Доцент, к.т.н. Десна Н.А.
(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Десна Н.А.	зарах.	15.01	Десна	
2	Основна частина	Десна Н.А.	зарах.	15.01	Десна	
3						
4						

Завідувач кафедри

ellact
(підпис)

К.О. Шмельцер
(ініціали, прізвище)

« 15 » січня 2025 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Хімічних технологій та інженерії

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

магістра

Здобувача Кривенка Руслана Валерійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-23м

Тема кваліфікаційної роботи магістра

Обґрунтування критеріїв вибору вугля для виробництва пило-вугільного палива з метою оптимізації роботи доменних печей

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>87;</u>
таблиць	<u>19;</u>
схем і рисунків	<u>26;</u>
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	<u>.</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи магістра

Кваліфікаційна робота присвячена питанню вибору сировини для виробництва пило-вугільного палива, що є найпоширенішим заміном коксу в доменній печі.

В кваліфікаційній роботі на основі розглянутих літературних джерел проведений аналіз різних технологій пиловугільного вдування, які поширені в світі і набули популярності і досвіду використання. Розглянуті вимоги до палива яке використовують в цих технологіях для ефективної роботи доменних печей.

В кваліфікаційній роботі досліджені показники якості вугілля, що можливо використовувати для виробництва пиловугільного палива, проведено його порівняння. В кваліфікаційній роботі запропоновані мало розповсюджені методи зниження зольності вугілля та зниження загального вмісту сірки, показані результати лабораторних і промислових експериментів.

Досліджені технології біофлотації та біовилуговування вугілля та сумішей різного складу, запропоновані умови для ефективного використання цих технологій для видалення золи сірки. Розглянута можливість використання торфу в суміші з довгополум'яним вугіллям для виробництва пиловугільного палива.

Недоліки кваліфікаційної роботи магістра
(бакалавра, магістра)

В роботі не зазначено за яким принципом обрані вугільні компоненти для виробництва пиловугільного палива, які показники якості вугілля є шкідливими в цій технології, та при яких технологіях ПВВ необхідні які параметри вугілля. Не достатньо розкритий вплив біовилуговування на інші якісні характеристики вугілля та нез'ясована можливість використання цієї технології в промислових умовах. В деяких місцях пояснювальної записки допущені стилістичні та орфографічні помилки та огріхи, в тексті зустрічається невдалий переклад.

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи магістра, ступінь самостійності виконання роботи, уміння користуватися літературними матеріалами

Здобувач Кривенко Р.В. під час написання кваліфікаційної магістерської роботи показала відмінну загальну та спеціальну підготовку, вміння працювати з літературними та нормативними джерелами. Над розділами роботи працювала самостійно, висновки та розроблені рекомендації є актуальними, ефективними та обґрунтованими.


Можливість використання кваліфікаційної роботи магістра

Запропоновані рішення та рекомендації по вибору вугілля для пиловугільного палива можна взяти за основу при пошуку постачальників вугілля на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», а розглянуті технології зниження золи і сірки взяти за основу для подальших досліджень.

Оцінка кваліфікаційної роботи магістра відмінно, 90, А

Керівник Десна Наталя Анатоліївна
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н.
(посада, науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

« 15 » 01 2025 р.

*Примітка. Бланк друкується з обох сторін на одному аркуші.

Декларація
про дотримання академічної доброчесності
під час написання курсової/кваліфікаційної роботи
здобувачем вищої освіти
Державного університету економіки і технологій

Я, Кривенко Руслан Валерійович, студент II курсу, групи ХТ-23м Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текст в інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

10.01.2025



Р. Кривенко

Д О В І Д К А
про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
- навчальної/наукової праці;
- наукових матеріалів

Обґрунтування критеріїв вибору вугля для виробництва пило-вугільного палива з метою оптимізації роботи доменних печей

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Кривенко Руслан Валерійович

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 87 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 24,28 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- власними публікаціями;
- термінологією;
- посиланнями на літературу, праці вчених;
- посиланнями на законодавство;
- загальноживаними фразами.

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК
(подальшого розгляду, друку, опублікування)

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «14» січня 2025 р. протокол № 8.

Керівник підрозділу



(підпис)

К. Шмельцер

Дата «14» січня 2025 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

(бакалавра, магістра)

Здобувача Кривенка Руслана Валерійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи
Тема кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> (бакалавра, магістра)
Обґрунтування критеріїв вибору вугля для виробництва пило-вугільного палива з метою оптимізації роботи доменних печей
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> (бакалавра, магістра)
Вибір та обґрунтування вугілля оптимального для застосуванні в якості заміни частини коксу в доменній печі
Переваги кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> (бакалавра, магістра)
Проаналізовані конструктивні і технологічні особливості технологій вдування пиловугільного палива, розглянуті показники якості вугілля на які необхідно звертати увагу при виборі вугілля для цієї технології. Проведений огляд можливих постачальників вугілля для пиловугільного палива та дослідження їх характеристик методи знесірчення цього вугілля та знезолення.
Недоліки кваліфікаційної роботи <u>магістра</u> (бакалавра, магістра)
Недостатньо інформації про характеристики якості запропонованого вугілля та досвід промислового використання
Рекомендації: робота може бути рекомендована до захисту.
Рецензент <u>Корнер Марина Віталіївна</u> (прізвище, ім'я та по-батькові)

К. У. В. Н., доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Корнер
(підпис)